



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

VLIV PROVEDENÍ ZATEPLENÍ BYTOVÉHO
DOMU NA VÝDAJE SPOJENÉ S PROVOZEM
TÉTO NEMOVITOSTI

THE IMPACT OF EXECUTING NEW THERMAL INSULATION ON A APARTMENT
BUILDING ON THE EXPENSES ASSOCIATED WITH ITS OPERATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Petra Nováková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Josef Čech, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav soudního inženýrství
Studentka: **Ing. Petra Nováková**
Studijní program: Soudní inženýrství
Studijní obor: Realitní inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Josef Čech, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Vliv provedení zateplení bytového domu na výdaje spojené s provozem této nemovitosti

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem práce bude provést návrh na zateplení bytového domu v Lysé nad Labem v několika variantách. Na základě jednotlivých návrhů pak budou vyhodnoceny rozdíly nákladů na provozování bytového domu před a po provedení zateplení. Následně bude zhodnocena ekonomická návratnost provedených investic.

Cíle diplomové práce:

Cílem bude zhodnocení ekonomické návratnosti jednotlivých navržených variant zateplení bytového domu v Lysé nad Labem.

Seznam literatury:

BRADÁČ, Albert. Teorie oceňování nemovitostí. 8., přeprac. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009, 753 s. ISBN 978-80-7204-630-0.

DAHLSVEEN, Trond, Dušan PETRÁŠ a Jiří HIRŠ. Energetický audit budov. 1. vyd. Bratislava: Jaga group, 2003, 295 s. ISBN 80-88905-86-9.

TICHÁ, Alena. Rozpočtování a kalkulace ve výstavbě. Vyd. 2., V Akademickém nakl. CERM 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008, 5 sv. ISBN 978-80-7204-587-7.

ČSN 730540-2. Tepelná ochrana budov: část 2 požadavky. Praha: ÚNMZ, 2011, 53 s.

Zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií + prováděcí vyhlášky.

Vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.
ředitel

Abstrakt

Tématem diplomové práce „Vliv provedení zateplení bytového domu na výdaje spojené s provozem této nemovitosti“ je návrh a posouzení čtyř variant zateplení obálky budovy. Diplomová práce se zabývá posouzením stávajícího návrhu obálky bytového domu společně s navržením alternativních variant s důrazem na snížení nákladů na vytápění.

V první části jsou popsány druhy budov podle potřeby tepla na vytápění a výčet různých variant tepelně-izolačních materiálů. Druhá část práce je věnována konkrétnímu bytovému domu v Ústí nad Labem, pro nějž jsou navrženy čtyři varianty zateplení. Práce obsahuje tepelné posouzení původního stavu bytového domu a následně tepelné posouzení po provedení zateplení. Jsou zjištěny náklady na realizaci navrženého zateplení společně s náklady na provozování bytového domu. V závěru práce je zhodnocena doba návratnosti jednotlivých variant zateplení.

Abstract

The topic of the diploma thesis „The impact of executing new thermal insulation on a apartment building on the expenses associated with its operation “ is a draft and appraisal of four variants of thermal insulation of the building. The thesis deals with the assessment of the current proposal for apartment building envelopes along with proposing alternative plans with emphasis on reducing heating costs.

The first section describes the types of buildings according to heating demand and a list of different variants of thermal insulation materials. The second part is devoted to a specific apartment building in the Ústí nad Labem for which there are designed in four variants of insulation. The work includes thermal assessment in original condition and the assessment of new condition modified by adding thermal insulation. Through research will be determined price of implementation of proposed insulation options together with the costs of operation of the apartment building. In conclusion, the diploma thesis evaluates the payback period of insulation.

Klíčová slova

Bytový dům, zateplení, zateplovací systém, ETICS, EPS, EPS G, minerální vata, fenolická pěna, energetická náročnost, tepelné mosty, součinitel prostupu tepla, energetická úspora, ekonomická návratnost investic.

Keywords

Apartment building, insulation, insulation system, ETICS, EPS, EPS G, mineral wool, phenolic foam, energy performance, thermal bridges, heat transfer coefficient, energy saving, the economic return on investment.

Bibliografická citace

NOVÁKOVÁ, P. *Vliv provedení zateplení bytového domu na výdaje spojené s provozem této nemovitosti*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2017. 110 s., 154 s. příl., Vedoucí diplomové práce Ing. Josef Čech, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 30.9.2016

.....

podpis diplomanta

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala panu Ing. Josefu Čechovi, Ph.D. za vedení mé diplomové práce. Děkuji mu za čas, který mi věnoval při konzultacích, za pomoc a nové zkušenosti, za informace a cenné rady, které mi předal, jeho ochotu a skvělý přístup.

Dále děkuji své rodině i všem blízkým lidem, kteří se mnou měli trpělivost, pevné nervy a podporovali mě během studia ve všech směrech.

OBSAH

1	ÚVOD	11
2	ROZLOŽENÍ SPOTŘEBY ENERGIE	13
3	KATEGORIZACE DOMŮ DLE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI	15
3.1	NÍZKOENERGETICKÉ DOMY	16
3.2	PASIVNÍ DOMY	17
3.3	NULOVÉ DOMY	19
3.4	ENERGETICKY AKTIVNÍ DOMY	19
4	TEPELNÁ NÁROČNOST BUDOV	21
4.1	TEPELNÉ ZTRÁTY	21
4.1.1	Tepelné mosty	22
4.1.2	Výpočet tepelné ztráty	24
4.2	POTŘEBA TEPLA NA VYTÁPĚNÍ	25
4.2.1	Výpočet potřeby energie na vytápění	26
4.2.2	Výpočet měrné potřeby tepla	27
4.3	POŽADAVKY NOREM	28
4.3.1	Nejnižší vnitřní povrchová teplota	28
4.3.2	Součinitel prostupu tepla a tepelný odpor	29
4.3.3	Lineární a bodový činitel prostupu tepla	32
4.3.4	Pokles dotykové teploty podlahy	32
4.3.5	Kondenzace vodní páry v konstrukci	32
4.3.6	Průvzdušnost funkčních spár výplní otvorů	33
4.3.7	Průvzdušnost obálky budovy	33
4.3.8	Výměna vzduchu v místnostech	33
4.3.9	Tepelná stabilita místnosti v zimním období	33
4.3.10	Tepelná stabilita místnosti v letním období	34

4.3.11	Prostup tepla obálkou budovy.....	34
5	TEPELNÉ IZOLACE	35
5.1	HISTORIE TEPELNÝCH IZOLACÍ.....	35
5.2	POŽADAVKY NA TEPELNÉ IZOLACE	36
5.3	DRUHY TEPELNÝCH IZOLACÍ Z HLEDISKA MATERIÁLU	37
5.3.1	Součinitel tepelné vodivosti.....	37
5.4	DRUHY VÝROBKŮ Z TEPELNÝCH IZOLACÍ.....	39
5.4.1	Desky	39
5.4.2	Rohože	40
5.4.3	Volné (sypané) materiály.....	40
5.5	VYBRANÉ TYPY MATERIÁLŮ NA ZATEPLENÍ.....	40
5.5.1	Pěnový polystyren.....	40
5.5.2	Extrudovaný polystyren.....	43
5.5.3	Polyuretanová izolační pěna	45
5.5.4	Pěnový polyetylén.....	47
5.5.5	Minerální vlna.....	48
5.5.6	Izolace na bázi dřeva.....	51
5.5.7	Izolace na bázi papíru	53
5.5.8	Pěnové sklo	54
5.5.9	Ovčí vlna.....	55
5.5.10	Izolace z technického konopí.....	56
5.5.11	Perlit.....	57
5.5.12	Keramzit.....	58
6	PRAKTICKÁ ČÁST.....	59
6.1	POPIS ŘEŠENÉHO BYTOVÉHO DOMU MODŘÍN	59
6.1.1	Popis objektu.....	60

6.2	NAVRŽENÉ VARIANTY ZATEPLENÍ OBÁLKOVÉ KONSTRUKCE BYTOVÉHO DOMU MODŘÍN.....	63
6.3	TEPELNĚ TECHNICKÉ POSOUZENÍ VARIANT SKLADEB OBVODOVÝCH KONSTRUKCÍ.....	66
6.3.1	Požadavek na splnění součinitele prostupu tepla.....	68
6.3.2	Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí.....	69
6.3.3	Grafické znázornění rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce	70
6.4	VÝPOČET NÁKLADŮ NA PROVOZOVÁNÍ BYTOVÉHO DOMU MODŘÍN ...	73
6.5	VÝPOČET NÁKLADŮ NA REALIZACI ZATEPLENÍ.....	84
6.6	EKONOMICKÁ NÁVRATNOST INVESTIC S NAVRŽENÝMI DRUHY OBÁLEK	90
7	ZÁVĚR	94
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	97
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	103
10	SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ	106
11	SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK.....	108
12	SEZNAM POUŽITÝCH GRAFŮ	109
13	PŘÍLOHY	110 - 264

1 ÚVOD

Jedenou z hlavních ideí dnešního světa je snižování energetické náročnosti jako příspěvku k ovlivnění procesu globálního oteplování. Touto problematikou se zabývá dlouhodobě téměř celý svět. Jedna z významných oblastí, která přispívá k naplnění tohoto cíle je i oblast snižování energetické náročnosti budov.

V dnešní době je otázka snižování energetické náročnosti budov tématem číslo jedna, i z pohledu majitelů nemovitostí z důvodu neustále se zvyšujících cen energií a v návaznosti nákladů na vytápění.

Jedním ze způsobů, jak snížit energetickou spotřebu domu je zvýšit jeho tepelný odpor, který brání prostupu tepla. Snížení tepelného odporu se dá docílit zateplením nemovitosti. Díky tepelné izolaci můžeme uspořit velké finanční částky za vytápění, nebo naopak klimatizaci budov, které by v krátkém čase překročily sumu peněz investovanou do tepelné izolace. Až 75 % energie spotřebované v domácnostech připadá na vytápění.

Tepelné izolanty se využívají všude tam, kde je třeba zabránit předávání tepla, k tomu dochází nejčastěji, když např. potřebujeme zabránit úniku tepla (zateplení domu, potrubí, atp.) a nebo v případě, kdy je potřeba zamezit ohřevu nějakého materiálu (dřevěná drážadla kuchyňského nádobí). Tepelný izolant je látka, která špatně vede teplo (má nízkou tepelnou vodivost). [38] Mezi nejlepší tepelné izolanty patří plyny a kapaliny, které rychleji než vedením přenášejí teplo prouděním. Z pevných látek jsou pro tepelné izolace vhodné především ty, které obsahují hodně plynu (vzduchu), např. minerální vlna (kamenná nebo skelná), peří, srst, papír, dále např. pěnové sklo, dřevo, polystyren, ap. Ve stavebnictví se kvůli lepší tepelné izolaci používají cihly s dutinami. Z látek neobsahujících plyny jsou dobrými tepelnými izolanty například plasty (polystyren, polyuretan, ale také bakelit a řada dalších). [1]

Obvykle se zateplují obvodové stěny, stropy, střechy, podlahy a osazují se kvalitní výplně otvorů. Ne ve všech případech je zateplení vhodným řešením. Vzhledem k poměrně vysokým nákladům na zateplení nemusí vždy vybraný druh zateplení přinést úsporu, ale naopak může být ztrátový. Je proto nutné klást důraz na vhodně zvolený návrh zateplení, který nám přinese vyšší úsporu, než je náklad na realizaci úsporného opatření.

První část mé diplomové práce je zaměřená na teoretický úvod do problému zateplování staveb. Přiblížíme si zde kategorizaci domů dle energetické náročnosti, požadavky norem, základy stavební fyziky a konkrétní typy tepelných izolací.

Cílem praktické části této diplomové práce je vypracovat vhodný návrh zateplení bytového domu v Lysé nad Labem. Tomu předchází seznámení se stavbou z hlediska konstrukčního a stavebně technického řešení z důvodu souhrnné představy o posuzovaném objektu, výpočet tepelných ztrát a nákladů na vytápění. Poté je důležité nalézt vhodný druh zateplení, ve kterém bude zohledněna cena energií, cena investice a stávající stav objektu.

Na základě tohoto návrhu následně vyhodnotím rozdíly nákladů na provozování bytového domu v Ústí nad Labem před a po provedení zateplení a zhodnotím ekonomickou návratnost investice do provedeného zateplení.

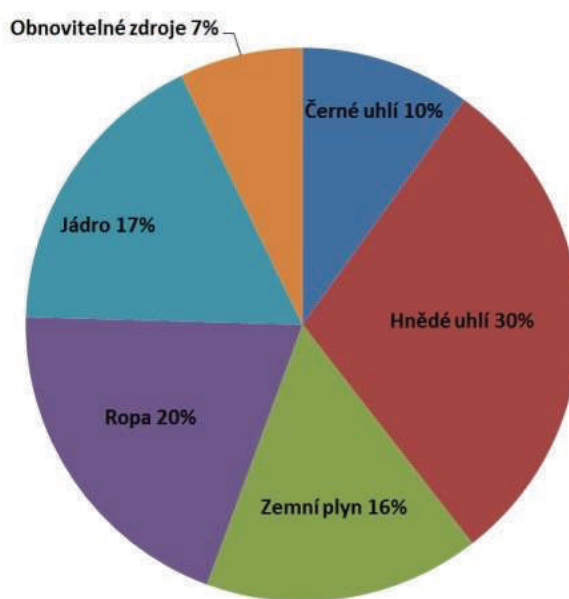
2 ROZLOŽENÍ SPOTŘEBY ENERGIE

Energie je pro nás životně důležitá. Z fyzikálního hlediska je energie schopnost hmoty konat určitou práci. Energie je hnacím motorem života a rozvoje civilizace.

Prvně začal člověk využívat energii již v pravěku v podobě ohně, který používal pro denní potřebu. S rostoucími nároky na životní potřeby člověka vzrůstá i spotřeba energie. S nárůstem spotřeby energie bohužel souvisí i řada negativních jevů, jako je nárůst emise skleníkových plynů, zapříčiněný zejména těžbou a spotřebou uhlí, ropy, zemního plynu, výstavbou tepelných elektráren, emisemi z dopravních prostředků atd. Spalováním fosilních paliv (např. uhlí), dochází k výrazné emisi oxidu uhličitého, což má negativní dopad na tvorbu tzv. skleníkového plynu. Trvale udržitelný rozvoj společnosti je dnes již celosvětovou prioritou, a proto se tyto negativní dopady snažíme odstranit. [6]

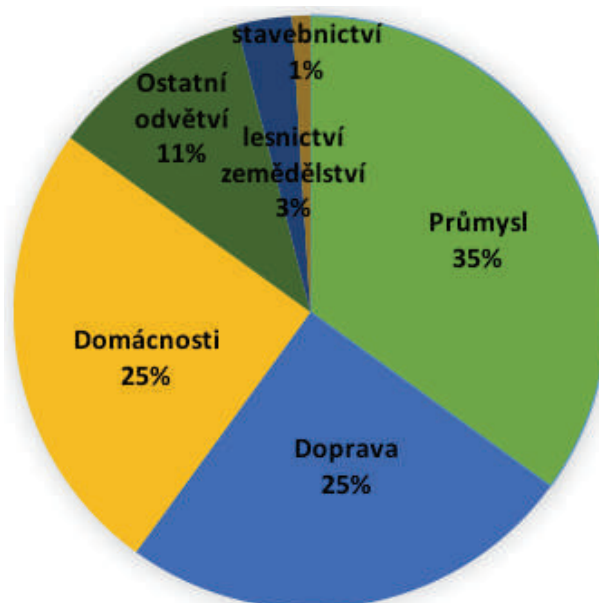
Dosažení trvale udržitelného rozvoje společnosti je možno dosáhnout m.j. za předpokladu snižování spotřeby energie a zvyšování využitelnosti obnovitelných zdrojů. Velké množství energie spotřebováváme značně neefektivně, proto je důležité se zaměřit na energetické úspory a zvyšovat účinnost využívání energie. Ve stavebním odvětví je velký potenciál především ve snižování spotřeby tepla na vytápění a přípravu teplé užitkové vody. [5]

V České republice jsou primární energetické zdroje pokryty téměř z 50 % domácími zdroji, což nás dělá z 50 % soběstačné. I přes značné dotace v minulých letech stále nebyla výrazně nahrazena spotřeba fosilních paliv na výrobu elektrické energie za výrobu z obnovitelných zdrojů. [4]



Graf č. 1 – Spotřeby primární energie dle zdrojů v ČR v letech 2010-2013 [3]

Spotřeba energií v domácnostech tvoří 25 % z celkové spotřeby energie v České republice. Tato spotřeba kolísá v souvislosti s rostoucí vybaveností domácností, s nárůstem ceny el. energie a tím spojeným nákupem úsporných spotřebičů, zateplením domů, pořízením úsporných a účinnějších zdrojů tepla a pod.



Graf č. 2 – Spotřeba primární energie podle sektorů v roce 2012 [2]

3 KATEGORIZACE DOMŮ DLE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI

Efektivní cestou, jak snížit výdaje za spotřebu energie a zároveň šetřit životní prostředí je stavební řešení s velmi redukovanou potřebou tepla na vytápění a dalších energetických potřeb (chlazení, příprava teplé vody, elektrické energie pro provoz technického zařízení budov a elektrická energie pro domácí spotřebiče, osvětlení atd.). Dalším krokem je volba energetických zdrojů s nízkým faktorem energetické přeměny a použití systémů produkujících energii z obnovitelných zdrojů v budově. [38]

Zásadou návrhu všech úsporných domů je jejich jednoduchý, kompaktní tvar a správná orientace ke světovým stranám. Obytné místnosti by měly být orientovány směrem k jihu s dostatečnými prosklenými plochami a s vhodným stínícím systémem kvůli přehřívání v letním období. Naopak místnosti technické a místnosti, které nepotřebují tolik světla umístíme na severní stranu. Nejpodstatnější je pak řízené větrání s rekuperací vzduchu a co nejlepší zateplení všech obalových konstrukcí. Všechny nové domy musí splňovat požadavky dle vyhlášky 78/2013 o energetické náročnosti budov. [38]

„Energeticky úsporné domy jsou navrženy a postaveny tak, že náklady na zajištění jejich provozu jsou nižší, než stanoví aktuálně platné normy a předpisy. Pro výpočet nákladů na provoz jsou důležité zejména náklady na vytápění a chlazení domu, větrání, ohřev teplé užitkové vody, spotřebu elektrické energie a vody. Do těchto nákladů se nezapočítává spotřeba energie nutná k realizaci stavby, tedy zejména energie potřebná k výrobě a dopravě stavebních materiálů.“ [7]

„Stavební materiály použité pro tyto stavby mají vždy lepší parametry, než pro danou stavbu požaduje ČSN a další předpisy související s výstavbou. Hlavním parametrem, podle kterého je použitá konstrukce posuzována z hlediska tepelně-izolačních vlastností, je tzv. součinitel prostupu tepla, který udává tepelnou ztrátu konstrukce o ploše 1 m² prostupem při rozdílu teplot 1 Kelvin. Výsledná hodnota tepelného prostupu je potom udávána ve watech. Z toho vyplývá, že čím menší hodnotu má výsledek, tím je tepelná ztráta dané konstrukce nižší.“ [7]

„Pro posouzení celé stavby z hlediska energetické náročnosti se využívá tzv. měrná potřeba tepla na vytápění, která udává spotřebu tepla v kWh na vytápění 1 m² budovy za rok. Zatímco běžné novostavby většinou dosahují hodnot 80 – 150 kWh/m² za rok, u energeticky

úsporných domů je tato hodnota podstatně nižší a výrazně tak snižuje náklady na vytápění.“
[7]

Dle energetické náročnosti domy dělíme na:

- nízkoenergetické
- pasivní
- nulové
- energeticky aktivní.

3.1 NÍZKOENERGETICKÉ DOMY

Od 1. 1. 2012 se v České republice nesmí stavět domy s vyšší spotřebou energie než 50 kWh/m²/rok. Touto spotřebou je myšleno množství tepla stanoveného výpočtem na 1 m² vytápěné části budovy. Právě tato hodnota 50 kWh/m²/rok definuje nízkoenergetické domy.

Docílíme jí pomocí optimalizace stavebního řešení obálky budovy a to kvalitním návrhem a provedením stavebních prací především bez tepelných mostů, správnou orientací na světové strany, kdy nejvíce oken směřujeme na jih, kvalitními okny, zateplenými obvodovými stěnami a střechou. [38]

Větrání je zde povoleno, ale je potřeba mít na paměti, že i v případě nejnižší povolené hygienické výměny vzduchu v místnosti a potažmo v celém objektu, budova přichází o nastřádané teplo. U nízkoenergetických budov je doporučováno používat klimatizační jednotku s rekuperací tepla. Rekuperace nám zajistí potřebnou výměnu vzduchu s minimálními energetickými ztrátami. [11]

Za nízkoenergetickou budovu se dle ČSN 73 0540-2 považuje budova, která má průměrný součinitel prostupu tepla nejvýše $U_{em} \leq 0,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ a současně nepřekračuje měrná potřeba tepla na vytápění již zmiňovaných $E_A \leq 50 \text{ kWh/m}^2\text{/rok}$. Pro budovy s návrhovou teplotou mimo interval 18 °C až 22 °C se hodnocení neprovádí. [38]

Hodnoty součinitelů prostupu tepla obvodových konstrukcí mají být nižší než hodnoty U_N doporučené normou. Pro venkovní stěnu či střechu se součinitel prostupu tepla u nízkoenergetických budov může pohybovat mezi 0,1 – 0,2 W/(m²K). Pro výplně otvorů nemá překročit 1,1 W/(m²K). [12]

3.2 PASIVNÍ DOMY

Vývoj pasivních domů zaznamenal v posledních letech obrovský vzestup a to zvláště z důvodu stále stoupajících cen za energie. Jedná se o pokročilou variantu nízkoenergetického domu. [13]

Tyto objekty jsou startem pro dosažení prakticky nulového domu, který bude podle Evropské směrnice o energetické náročnosti budov povinný od roku 2020. V porovnání s předešlým nízkoenergetickým domem může pasivní dům ušetřit až 85 % nákladů na energie. [14]

Pasivní budovy musí mít minimalizovanou potřebu energie na zajištění požadovaného stavu vnitřního prostředí a také minimalizovanou potřebu primárních energií z neobnovitelných zdrojů na jejich provoz a to díky optimalizovanému stavebnímu řešení a dalším opatřením. [15]

Pasivní dům je budova, která se vytápí převážně sama pomocí slunečního záření a zpětným získáváním vnitřního tepla, jehož potřeba podle definice uvedené v ČSN 73 0540-2 nesmí překročit 15 kWh/(m²rok). [16] V pasivním domě se můžeme úplně vzdát konvenční topné soustavy, musíme ovšem navrhnout přitápění, které pokryje nezbytnou minimální potřebu tepla. [13]

Dalšími zásadami pro pasivní dům je součinitel prostupu tepla obvodových konstrukcí $U \leq 0,15 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$, součinitel prostupu tepla střechy $U \leq 0,12 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ a součinitel prostupu tepla oken $U \leq 0,8 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. [12] Z hlediska neprůvzdušnosti obálky budovy je povinně hodnocenou vlastností těsnost s maximální přípustnou hodnotou $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$. [17]

Tato neprůvzdušnost obálky konstrukce je testována pomocí tzv. Blower Door Testu, který se provádí během výstavby a následně i během užívání stavby. Jedná se o zkoušku měřící výměnu vzduchu pomocí testu s ventilátorem. Hodnota n_{50} vystihuje celkovou výměnu vzduchu při tlakovém rozdílu vzduchu 50 Pa. Menší hodnota n_{50} současně vyjadřuje větší vzduchotěsnost. Tato hodnota je závislá na způsobu větrání a porovnává se s normovými hodnotami. [18]

Tab. č. 1 – Porovnání hodnot koeficientu n_{50} v závislosti na rozdílném způsobu větrání dle ČSN 73 0540-2. [65]

Doporučené hodnoty celkové intenzity vzduchu $n_{50,N}$	
Větrání v budově	$n_{50,N} [h^{-1}]$
Přírozené nebo kombinované	4,5
Nucené	1,5
Nucené se zpětným získáváním tepla	1
Nucené se zpětným získáváním tepla v budovách se zvláště nízkou potřebou tepla na vytápění (pasivní domy)	0,6

Aby pasivní dům nepřekročil všechny výše uvedené hodnoty, musí být dodrženy následující zásady:

- Co nejjednodušší kompaktní tvar domu.
- Orientace budovy tak, aby byly obytné místnosti na jih a tím bylo umožněno co nejlepší pasivní získávání energie ze slunečního záření. Na stěny, které jsou nejméně osluňovány, se dávají pouze malá nebo žádná okna.
- Kvalitní tepelná izolace všech částí stavebních konstrukcí. Díky tomu minimalizujeme prostupy. U střešního pláště se zpravidla vyžaduje 40 – 60 cm vrstva tepelné izolace. Obvodové zdivo by mělo mít tloušťku tepelné izolace 25 – 40 cm. Podlahy by měly být zatepleny tepelnou izolací tloušťky alespoň 30 cm. Na rozdíl od běžných staveb se u pasivních domů zateplují i základy.
- Budova musí být vzduchotěsná, aby netěsnostmi v obvodovém plášti neunikalo žádné teplo.
- Mechanické větrací zařízení s vysoce účinným zpětným získáváním tepla.
- Všechna okna musí mít vynikající tepelně izolační vlastnosti rámu a trojitě tepelně izolační zasklení s plynovou výplní mezi skly.
- Stínění oken v letních měsících z důvodu přehřívání. [19]

3.3 NULOVÉ DOMY

Ze stavebního hlediska musí nulové domy splňovat konstrukční zásady jako pasivní budovy. Odlišné je kritérium vyjadřující bilanci spotřeby a produkce energie v hodnotách primární energie z neobnovitelných zdrojů. [20]

V případě nulového domu je spotřeba energie v největší míře kryta z obnovitelných zdrojů. Hodnota měrné plošné potřeby tepla na vytápění nulového domu by měla být menší než 5 kWh/m² za rok. [38]

Vlivem Evropské unie došlo v naší legislativě k novele zákona o hospodaření s energiemi č. 318/2012 Sb. s účinností od 1. 1. 2013 s novou prováděcí vyhláškou 78/2013 Sb. s účinností od 1. 4. 2013, která nám klade požadavky na nové budovy. [22]

Nové domy (bytové, rodinné, administrativní) od roku 2018 / 2019 / 2020

Musí splňovat požadavky tak, aby měly téměř nulovou spotřebu energie (nulové domy) a to:

- od 1. ledna 2018 (pro domy s podlahovou plochou větší než 1 500 m²)
- od 1. ledna 2019 (pro domy s podlahovou plochou větší než 350 m²)
- od 1. ledna 2020 (pro domy s podlahovou plochou menší než 350 m²)

Nové domy veřejné správy od roku 2016 / 2017 / 2018

Musí splňovat požadavky tak, aby měly téměř nulovou spotřebu energie (nulové domy) a to:

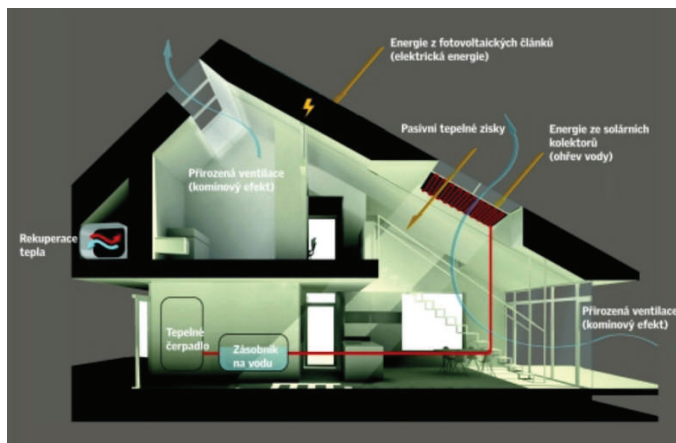
- od 1. ledna 2016 (pro domy s podlahovou plochou větší než 1 500 m²)
- od 1. ledna 2017 (pro domy s podlahovou plochou větší než 350 m²)
- od 1. ledna 2018 (pro domy s podlahovou plochou menší než 350 m²) [22]

3.4 ENERGETICKY AKTIVNÍ DOMY

Energeticky aktivní domy nazývané také domy energeticky nezávislé nebo s energetickým přebytkem jsou vizí do budoucna. Hlavním záměrem u tohoto domu je, že si sám vyrobí a pokryje celkovou potřebu tepla a navíc vytváří i energetické přebytky, které se dále posílají zpět do veřejné sítě.

Jde o určité soužití zdravého bydlení, úspor energie a šetrnosti k přírodě a životnímu prostředí. Už během projektování musíme přihlížet ke konkrétnímu místu osazení objektu.

„Aktivní dům je vybaven vlastními energetickými zdroji, které využívají těch nejmodernějších technologií dostupných na trhu a vyrobí více energie, než dům a jeho obyvatelé spotřebují. Střecha slouží k umístění solárních kolektorů pro ohřev teplé vody a částečně i pro vytápění. Tato energie je akumulována v nádržích a tímto způsobem je zajištěno její ideální použití v době, kdy je jí maximálně potřeba. Fotovoltaické panely vyrábějí elektrickou energii pro vlastní potřebu domu a v případě jejího přebytku jí dodávají do sítě. Doplňkovými zdroji tepla můžou být kotle na biomasu nebo tepelná čerpadla. Pro zdravé vnitřní prostředí je nutná pravidelná výměna vzduchu, k čemuž slouží hybridní větrání. Jedná se o kombinaci řízeného větrání s rekuperací tepla a přirozeného větrání v letním období. Díky přebytku energií je dům schopen navracet i část pořizovacích nákladů.“ [23]



Obr. č. 1 – Energeticky aktivní dům využívající maximum sluneční energie [68]

4 TEPELNÁ NÁROČNOST BUDOV

Energie spotřebovaná při provozu budovy má více než třetinový podíl na celkové spotřebě primární energie. Při rekonstrukci stávajících objektů, je nutné provádět opatření, která mají vliv na prodloužení životnosti rekonstruovaného objektu, ale také na úspory energií spojených s jeho provozem. [20]

Normy evropského práva týkající se energetické náročnosti budov byly v rámci České republiky uvedeny v zákoně č. 406/2000 Sb., *o hospodaření energií* v platném znění.

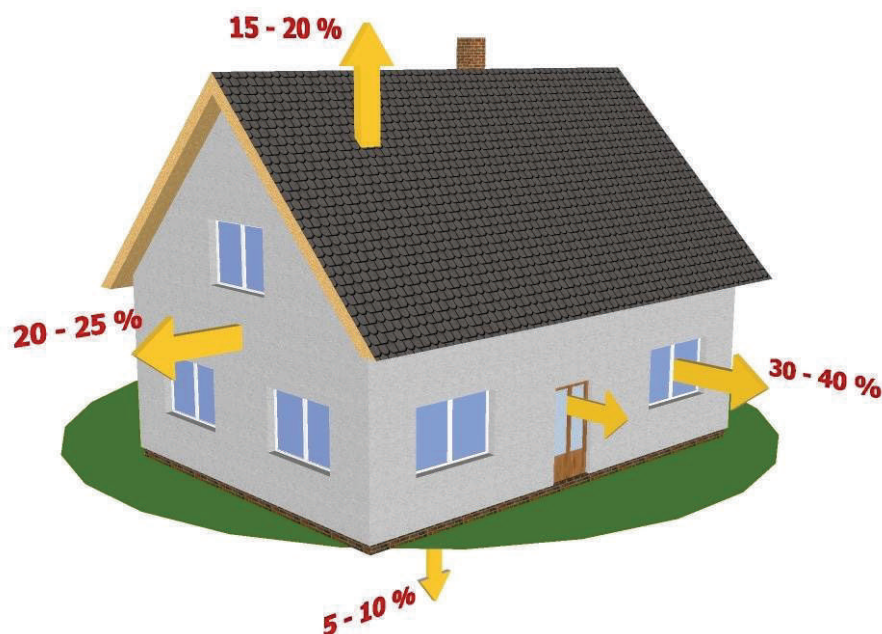
Zákon upravuje základní oblasti: Energetická koncepce, Státní program na podporu úspor energie a využití obnovitelných a druhotných zdrojů energie, některá opatření pro zvyšování hospodárnosti užití energie. Poslední jmenovaná oblast konkretizuje mimo jiné snižování energetické náročnosti budov, popisuje průkaz energetické náročnosti budov, energetických štítků, energetických auditů a posudků. [13]

Energetickou náročností budovy rozumíme vypočtené množství energie nutné pro pokrytí potřeby energie spojené s užíváním budovy, zejména na vytápění, chlazení, větrání, úpravu vlhkosti vzduchu, přípravu teplé užitkové vody a osvětlení.“ [24]

4.1 TEPELNÉ ZTRÁTY

Abychom v budovách omezili spotřebu elektrické energie, musíme zabránit vzniku tepelných ztrát.

Tepelná ztráta tepla na vytápění je okamžitá hodnota tepelné energie (tepelný tok), která z domu uniká prostupem tepla, zářením skrz průsvitné konstrukce a větráním. Tuto hodnotu je nutné počítat vždy na extrémní venkovní podmínky, tedy v ČR obvykle na $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, na místech kde je tepleji (např. v Praze) je tato výpočtová teplota $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, naopak na horách $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Občas se u nás vyskytují i větší mrazy, ale akumulární schopnosti domu a jeho vybavení tyto extrémní výchyly překlenou. [25] Na tuto hodnotu tepelné ztráty musí být nadimenzované radiátory a tepelný zdroj na vytápění. Tyto extrémní venkovní teploty jsou v ČR během zimního období velmi krátkou dobu, proto se dražší zdroje energie (např. tepelné čerpadlo) dimenzují na nižší výkon s tím, že pokud je potřebný vyšší tepelný příkon, dotápí se dalším zdrojem, např. elektřinou. [26]



Obr. č. 2 – Procentuální podíl tepelné ztráty obálkou budovy [7]

4.1.1 Tepelné mosty

Tepelný most je místo v konstrukci, kde dochází k větším tepelným tokům než v jeho okolí. Zvýšené tepelné toky prochází místy obvodového pláště budovy, kde je vnitřní stěna chladnější než jiná místa. Tepelný most je tedy místo, kde je izolační schopnost konstrukce oslabena a kudy nám uniká teplo z interiéru do exteriéru. [27]

Tepelné mosty mohou být tvořeny např. kovovými prvky ve zdivu (ŽB překlad), podlahovými deskami, balkony, lodžii, mezi jednotlivými tvárnicemi nebo v místě napojení dvou konstrukcí (roh místnosti). [27]

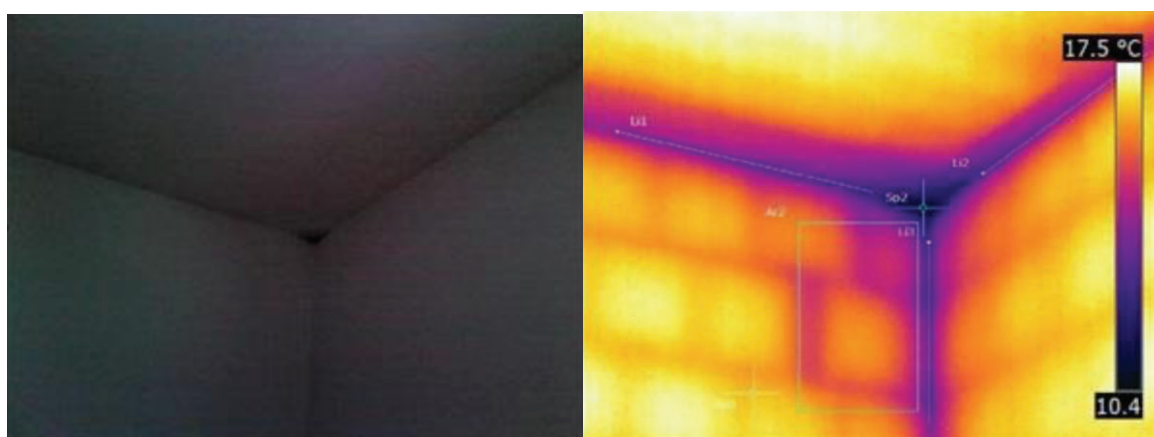
Tepelný most může mít za následek vznik kondenzace vlhkosti a vznik plísní. Tepelná ztráta těmito místy může dosahovat i několik desítek procent celkové ztráty prostupem tepla, proto je třeba věnovat velkou pozornost konstrukčnímu řešení detailů. [25]

Těchto problematických míst se můžeme zbavit zateplením. Důležité je např. správné napojení tepelné izolace a okenních rámců, izolace pásu zdi nad terénem, napojení izolace svislých stěn a střechy, izolace krokví atd. [25]

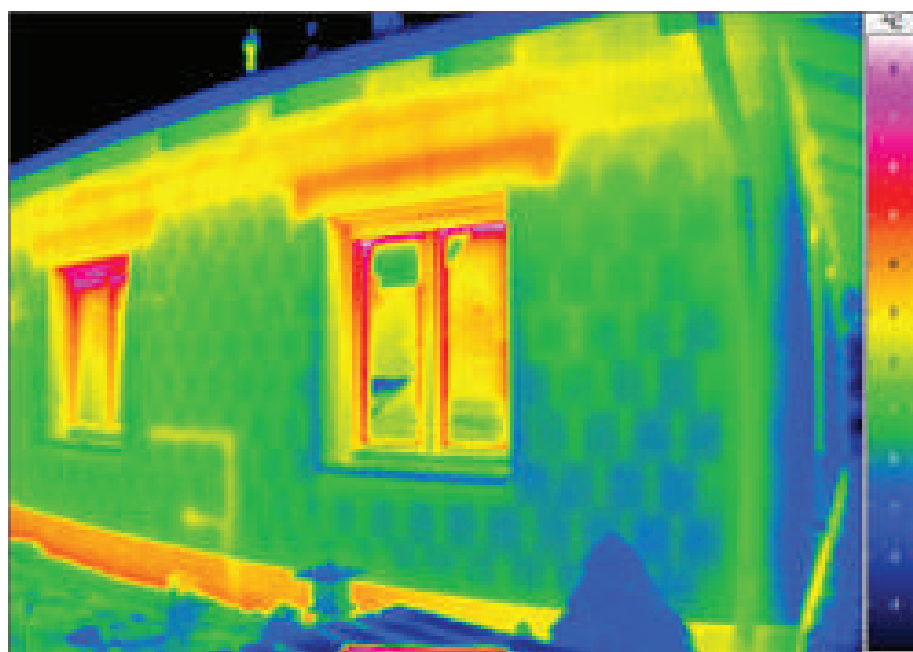
Nesmíme zapomínat ani na nutnou hygienickou výměnu vzduchu infiltrací, protože nedostatečná výměna vzduchu může mít za následek stejný vznik vodní páry jako u tepelných mostů. [25]



Obr. č. 3 – Kondenzace vlhkosti způsobená tepelným mostem. [28] [29]



Obr. č. 4 – Detail tepelného mostu ve styku 3 zvenku ochlazovaných konstrukcí. [30]



Obr. č. 5 – Viditelné úniky tepla pomocí měření termokamerou [31]

4.1.2 Výpočet tepelné ztráty (Q)

Celková tepelná ztráta:

$$Q = Q_p + Q_{pm} + Q_{vv} \quad [W]$$

Tepelná ztráta prostupem (Q_p)

$$Q_p = \Sigma(U \cdot A \cdot b) \cdot (\theta_{ai} - \theta_{ae}) \quad [W]$$

kde

U ... součinitel prostupu tepla [W/(m²K)]

A ... plocha konstrukce [m²]

b ... součinitel vlivu exteriéru [-]

θ_{ai} ... návrhová teplota vnitřního vzduchu (pro obytné budovy se uvažuje +21°C) [°C]

θ_{ae} ... návrhová teplota venkovního vzduchu (obvykle se uvažuje -15°C) [°C]

Tepelná ztráta tepelnými mosty (Q_{pm})

Přesný výpočet tepelné ztráty tepelnými mosty:

$$Q_{pm} = \Sigma(y \cdot l) \cdot (\theta_{ai} - \theta_{ae}) + \Sigma c \cdot (\theta_{ai} - \theta_{ae}) \quad [W]$$

Méně přesný výpočet tepelné ztráty tepelnými mosty:

$$Q_{pm} = 0,1 \cdot \Sigma A \cdot (\theta_{ai} - \theta_{ae}) \quad [W]$$

kde

y ... lineární tepelný most [W/(mK)]

l ... délka lineárního tepelného mostu y [m]

c ... bodový tepelný most [W/K]

ΣA ... součet všech ploch ochlazovaných konstrukcí [m²]

Druhý způsob výpočtu předpokládá, že tepelné mosty se projeví jako zvýšení součinitele prostupu tepla U o $0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. To můžeme použít u běžných tepelných mostů. Pokud se však tepelnými mosty při stavbě nezabýváme, může být tato hodnota i výrazně vyšší.

Posledním možným způsobem započítání vlivu tepelných mostů je zvýšení součinitele prostupu tepla U o hodnotu DU (obvykle $0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) přímo při výpočtu tepelných ztrát prostupem. [26]

Tepelná ztráta větráním (Q_{vv})

$$Q_{vv} = c_{vz} \cdot n \cdot V / 3600 \cdot (\theta_{ai} - \theta_{ae}) \quad [\text{W}]$$

kde

c_{vz} ... měrné teplo vzduchu (rovná se přibližně $1250 \text{ J}/(\text{m}^3\text{K})$) [$\text{J}/(\text{m}^3\text{K})$]

n ... násobnost výměny vzduchu

V ... objem místnosti nebo budovy [m^3]

3600 ... převod z hodin na vteřiny

Násobnost výměny vzduchu n se uvažuje $0,5\times$ za 1 hod. při dosazování vnitřního prostoru místnosti (budovy), a nebo $0,4\times$ za 1 hod. při dosazování vnějšího obestavěného prostoru, u starších oken se tato hodnota zvětšuje až na $1\times$ za 1 hod. a naopak, pokud je místnost málo větraná, protože v ní nejsou např. květiny a je málo používaná, může být u těsných oken minimalizována až na $0,1\times$ za 1 hod. [26]

4.2 POTŘEBA TEPLA NA VYTÁPĚNÍ

Roční potřeba tepla na vytápění je množství tepelné energie, kterou je potřeba do domu dodat tak, aby v něm byla požadovaná teplota. Počítá se s průměrnou vnější teplotou za vytápěcí období, která je v ČR přibližně $+3,8 \text{ }^\circ\text{C}$, průměrnou délkou topného období, jež obvykle trvá okolo 242 dnů a s obvyklou dobou vytápění, která je většinou obvyklá cca 16 hodin denně. [26]

Průměrná vnější teplota a délka otopného období závisí na konkrétní lokalitě a přesnější hodnoty pro různé lokality jsou uvedeny ve vyhlášce. Od takto vypočtené tepelné ztráty pak ještě můžeme odečíst tepelné zisky, jež získáme ze slunce, a tepelné zisky z vnitřního prostředí

(pokud je ovšem dokážeme využít, čili pokud máme tomu odpovídající regulaci vytápění a pokud má dům potřebnou tepelnou akumulaci). Můžeme zde počítat i s průměrnou teplotou v interiéru a zohlednit tak pokles vnitřní teploty během doby, kdy nevytápíme, popřípadě kdy nejsme přítomni. Při uvažování s poklesem vnitřní teploty nám právě tepelná akumulace domu brání započítávat příliš vysoké snížení teploty. Obvykle se u našich staveb uvažují řádově desetiny stupně Celsia. [26]

4.2.1 Výpočet potřeby energie na vytápění

Potřeba tepelné energie za otopné období:

$$E_r = E_{vp} + E_{vv} - E_{zs} - E_{vz} \quad [\text{kWh/a}]$$

Roční potřeba energie pro krytí tepelných ztrát prostupem (E_{vp}):

$$E_{vp} = [(Q_p + Q_{pm}) \cdot (\theta_{ais} - \theta_{aes})] \cdot T \cdot d / (\theta_{ai} - \theta_{ae}) / 1000 \quad [\text{kWh/a}]$$

kde

θ_{ais} ... střední teplota interiéru během topného období (obvykle pro bytové domy +20°C) [°C]

θ_{aes} ... střední teplota exteriéru během topného období (závisí na lokalitě stavby, pro srovnání se používá smluvní hodnota +3,8 °C) [°C]

T ... počet hodin vytápění denně (pro výpočet reálné potřeby tepla na vytápění se obvykle volí 16 hodin, pro hodnocení budov 24 hodin) [hod]

d ... počet dnů vytápění (závisí na místě stavby, pro srovnávání se používá smluvní hodnota 242 dnů)

$(\theta_{ai} - \theta_{ae})$... rozdíl vnitřní a vnější teploty (viz předchozí vzorce) [hod]

1000 ... přepočítávací koeficient z wattů na kilowatty

Roční potřeba energie pro krytí tepelných ztrát větráním (E_{vv}):

$$E_{vv} = [Q_{vv} \cdot (\theta_{ais} - \theta_{aes})] \cdot T \cdot d / (\theta_{ai} - \theta_{ae}) / 1000 \quad [\text{kWh/a}]$$

Roční tepelné zisky ze slunečního záření (E_{zs}):

$$E_{zs} = 2,7 \cdot V \quad [\text{kWh/a}]$$

kde

$$V \dots \text{objem budovy} \quad [\text{m}^3]$$

Tento uvedený výpočet je velmi přibližný a uvažuje s obvyklým zastíněním objektu a obvyklými plochami oken u domu. Přesnější výpočet je složitější a závisí na orientaci ke světovým stranám a na mnoha součinitelích zastínění, zašpinění, propustnosti slunečního záření, lokalitě, atd. Přesnější výpočet udává norma nebo výpočtové programy. [26]

Roční tepelné zisky z vnitřního prostředí (E_{vz}):

$$E_{vz} = 5,4 \cdot V \quad [\text{kWh/a}]$$

kde

$$V \dots \text{objem budovy} \quad [\text{m}^3]$$

Tento uvedený výpočet je opět přibližný.

4.2.2 Výpočet měrné potřeby tepla (e_V)

$$e_V = E_r / V \quad [\text{kWh/m}^3, \text{a}]$$

kde

$$E_r \dots \text{potřeba tepelné energie za otopné období} \quad [\text{kWh/a}]$$

$$V \dots \text{objem budovy} \quad [\text{m}^3]$$

Měrná potřeba tepla e_V musí být menší a nebo rovna normovému požadavku e_{VN} . Požadavky na hodnoty e_{VN} jsou stanoveny tabulkově (viz. tab. č. 2) v závislosti na geometrické charakteristice budovy A/V [$1/\text{m}$] a nebo pro něj platí následující podmínky:

pokud je $A/V \leq 0,2$, pak $e_{VN} = 25,8 \text{ kWh/m}^3, \text{a}$

pokud $0,2 < A/V < 1,0$, tak $e_{VN} = 20,64 + 26,03 (A/V) \text{ kWh/m}^3, \text{a}$

pokud je $A/V \geq 1,0$, pak $e_{VN} = 46,7 \text{ kWh/m}^3, \text{a}$ [26]

Tab. č. 2 – Požadované hodnoty měrné potřeby tepla při vytápění budov [32]

$A/V(\text{m}^{-1})$	$e_{VN}[\text{kWh/m}^3\text{r}]$	$e_{AH} [\text{Wh/m}^2\text{r}]$
0,2	25,8	80,6
0,3	28,4	88,8
0,4	31,0	96,9
0,5	33,6	105,0
0,6	36,2	113,1
0,7	38,9	121,6
0,8	41,5	129,7
0,9	44,0	137,5
1,0	46,7	145,9
<p>Mezilehlé hodnoty je možno stanovit podle vztahů:</p> $e_{VN} (\text{kWh/m}^3\text{r}) = 20,64 + 26,03 \cdot (A/V)$ $e_{AH} (\text{kWh/m}^2\text{r}) = e_{VN} / 0,32$ <p>Výsledná hodnota se zaokrouhluje na jedno desetinné místo.</p> <p><i>Poznámka - Hodnoty měrné spotřeby tepla vztažené na m^2 plochy vytápěných místností jsou stanoveny pro světlou výšku podlaží $\leq 2,6 \text{ m}$.</i></p>		

4.3 POŽADAVKY NOREM

4.3.1 Nejnižší vnitřní povrchová teplota $\theta_{si, \min}$

„Prokazuje se nejnižším teplotním faktorem vnitřního povrchu $f_{Rsi, \min}$.“

„Hodnotí riziko vzniku plísní, popř. kondenzace vodních par, na vnitřním povrchu konstrukcí a jejich návazností, u dřevostaveb s maximální opatrností a bezpečností, zohledňující možné změny režimů vytápění v průběhu životnosti budovy.“ [17]

4.3.2 Součinitel prostupu tepla U a tepelný odpor R

Tepelně technickým parametrem konstrukce je jeho součinitel prostupu tepla U [$W/(m^2K)$].

„Od listopadu 2002 nahradil součinitel prostupu tepla, předtím užívanou veličinu tepelný odpor konstrukce R . Vystihuje však lépe skutečnost, že teplo se šíří z ustáleného prostředí na jedné straně konstrukce do prostředí na druhé straně konstrukce při dvojrozměrném a trojrozměrném šíření tepla.“ [17]

Jedná se o množství tepla, které projde konstrukcí jednotkové plochy s teplotním rozdílem vnější a vnitřní strany 1 Kelvin. Čím nižší je hodnota součinitele prostupu tepla, tím konstrukce lépe zabraňuje úniku tepla. [17]

Součinitel prostupu tepla (U) se vypočte podle vzorce:

kde

R_{si} ... tepelný odpor při přestupu na vnitřní straně konstrukce [$W/(m^2K)$]

R_{se} ... tepelný odpor při přestupu na vnější straně konstrukce [$W/(m^2K)$]

$R_i = \Sigma(d/\lambda)$... tepelný odpor vrstvy [$(m^2K)/W$]

d ... tloušťka jednotlivých vrstev stěny [m]

λ ... měrná tepelná vodivost materiálů jednotlivých vrstev [$W/(mK)$]

Součinitel prostupu tepla se hodnotí současně dvěma způsoby:

- Pro jednotlivé konstrukce:

Součinitel prostupu tepla U v prostorách s návrhovou relativní vlhkostí vnitřního vzduchu $\varphi_i \leq 60 \%$ musí splňovat podmínku $U \leq U_N$, kde U_N je požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla.

Pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou v intervalu $18^\circ C$ až $22^\circ C$ včetně, se požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla jednotlivých stavebních konstrukcí doplněných o doporučené hodnoty pro pasivní budovy stanovují pomocí

tabulkových hodnot (tab. č. 3).

- Pro budovu jako celek:

Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} budovy nebo vytápěné zóny musí splňovat podmínku $U_{em} \leq U_{em,N}$, kde $U_{em,N}$ je požadovaná hodnota průměrného součinitele prostupu tepla.

Průměrný součinitel prostupu tepla budovy nebo její ucelené části se stanoví ze vztahu:

kde

U_{em} ... průměrný součinitel prostupu tepla [W/(m²K)]

H_T ... měrný tepelný tok prostupem tepla budovy nebo její části [W/K]

A ... celková plocha kcí ohraničujících vytápěný objem budovy nebo její části [m]

Tepelný odpor (R) se vypočte podle vzorce:

$$R = R_{si} + R_{se} + \Sigma R_i \quad [(\text{m}^2\text{K})/\text{W}]$$

kde

R_{si} ... tepelný odpor při přestupu tepla (součinitel přestupu tepla) na vnitřní straně konstrukce [(\text{m}^2\text{K})/\text{W}]

R_{se} ... tepelný odpor při přestupu tepla (součinitel přestupu tepla) na vnější straně konstrukce [(\text{m}^2\text{K})/\text{W}]

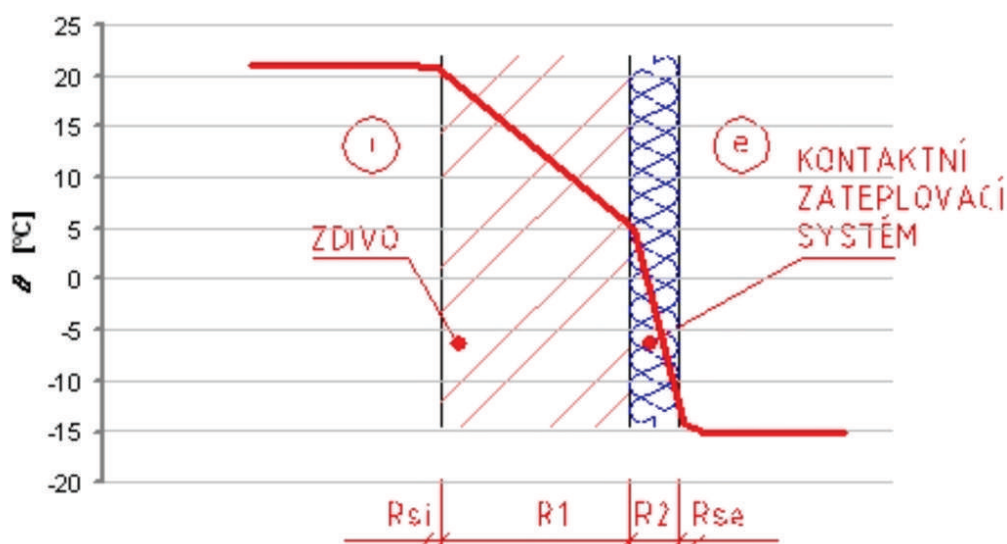
$R_j = \Sigma(d/\lambda)$... tepelný odpor vrstvy [(\text{m}^2\text{K})/\text{W}]

d ... tloušťka jednotlivých vrstev stěny (konstrukce) [m]

λ ... měrná tepelná vodivost (součinitel tepelné vodivosti) materiálů jednotlivých vrstev [W/(mK)]

Tab. č. 3 – Normové hodnoty součinitele prostupu tepla jednotl. konstrukcí dle ČSN 73 0540-2:2011 [8]

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla U [W/(m ² .K)]		
	Požadované hodnoty	Doporučené hodnoty	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy
	U _{N,20}	U _{rec,20}	U _{pas,20}
Stěna vnější	0,30	těžká 0,25 lehká 0,20	0,18 až 0,12
Střecha strmá se sklonem nad 45°	0,30	0,20	0,18 až 0,12
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop pod nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace)	0,30	0,20	0,15 až 0,10
Stěna k nevytápěné půdě (se střechou bez tepelné izolace)	0,30	těžká 0,25 lehká 0,20	0,18 až 0,12
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,45	0,30	0,22 až 0,15
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,60	0,40	0,30 až 0,20
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k temperovanému prostoru	0,75	0,50	0,38 až 0,25
Strop a stěna vnější z temperovaného prostoru k venkovnímu prostředí	0,75	0,50	0,38 až 0,25
Podlaha a stěna temperovaného prostoru přilehlá k zemině	0,85	0,60	0,45 až 0,30
Stěna mezi sousedními budovami	1,05	0,70	0,50
Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,05	0,70	-
Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,30	0,90	-
Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,20	1,45	-
Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,70	1,80	-
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše z vytápěného prostoru do venkovního prostředí kromě dveří	1,50	1,20	0,80 až 0,60
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45° z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	1,40	1,10	0,90
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	1,70	1,20	0,90
Výplň otvoru vedoucí z vytápěného do temperovaného prostoru	3,50	2,30	1,70
Výplň otvoru vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	3,50	2,30	1,70
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45° vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	2,60	1,70	1,40
Kovový rám výplně otvoru	-	1,80	1,00
Nekovový rám výplně otvoru	-	1,30	0,90 až 0,70
Rám lehkého obvodového pláště	-	1,80	1,20



Obr. č. 6 – Průběh teplot ve zdivu se zateplením v ustáleném stavu a vyznačené jednotlivé tepelné odpory. [31]

4.3.3 Lineární a bodový činitel prostupu tepla ψ_k a χ_i

„Hodnotí navýšení tepelného toku ve spojích konstrukcí nad úroveň samostatného působení konstrukcí na nastavené úrovni (požadované, doporučené, pasivní – klesají vůči sobě na 2/3 předchozí úrovně.“ [38]

4.3.4 Pokles dotykové teploty podlahy $\Delta\theta_{10}$

„Hodnotí vhodnost konstrukce pro přímý kontakt s osobou.“ [38]

4.3.5 Kondenzace vodní páry v konstrukci

„Prokazuje se buď vyloučením kondenzace nebo souběžným splněním podmínek pro omezení ročního zkondenzovaného množství M_c a roční bilance kondenzace a vypařování vlhkosti.

Hodnotí riziko vzniku kondenzace vodních par uvnitř konstrukce, popř. její omezení na přípustnou míru danou jednak neohrožením funkce konstrukce (např. nesníží se životnost, únosnost...), jednak zkondenzovaným množstvím (omezení ročního zkondenzovaného množství, jak v absolutním, tak v relativním vyjádření; přitom při uplatnění dřeva a nebo materiálu na bázi dřeva jsou podmínky přísnější) a také příznivou roční bilancí zkondenzované a vypařitelné vlhkosti.“ [38]

4.3.6 Průvzdušnost funkčních spár výplní otvorů

„Prokazuje se součinitelem spárové průvzdušnosti i_{LV} .“

„Hodnotí se u funkčních spár měřením ve zkušebních laboratořích (spárová průvzdušnost výplní otvorů a lehkých obvodových plášťů). U ostatních spár a netěsností se nepřipouští (viz také měření celkové průvzdušnosti budovy).“ [17]

4.3.7 Průvzdušnost obálky budovy

„Prokazuje se celkovou intenzitou výměny vzduchu n_{50} při tlakovém rozdílu 50 Pa a utěsnění funkčních spár výplní otvorů.

Hodnotí se měřením na provedené budově s utěsněnými funkčními spárami při záměrně zajištěném rozdílu tlaků vzduchu na 50 Pa mezi vnějším a vnitřním prostředím. Obvykle při kolaudaci budovy (hodnotí se tím i vyloučení šíření vlhkosti prouděním vzduchu napříč konstrukcemi, které může být významnějším zdrojem vnitřní vlhkosti v konstrukcích, než zkondenzovaná vlhkost).“ [17]

4.3.8 Výměna vzduchu v místnostech

„Prokazuje se intenzitou výměny vzduchu n .“

Hodnotí se výměna vzduchu v místnostech nebo vnitřních prostorech podle jejich účelu (za tlakových podmínek odpovídajících běžnému provozu a při provozní těsnosti funkčních spár).“ [17]

4.3.9 Tepelná stabilita místnosti v zimním období

„Prokazuje se poklesem výsledné teploty v místnosti v zimním období $\Delta\theta_v(t)$.“

„Hodnotí chování kritické místnosti (vnitřního prostoru) při chladnutí poklesem výsledné teploty na konci topné přestávky (v čase t).“ [38]

4.3.10 Tepelná stabilita místnosti v letním období

„Prokazuje se nejvyšší denní teplotou vzduchu v místnosti v letním období $\theta_{ai,max}$, popřípadě nejvyšším denním vzestupem teploty vzduchu v místnosti v letním období $\Delta\theta_{ai,max}$.“
[38]

4.3.11 Prostup tepla obálkou budovy

„Prokazuje se průměrným součinitelem prostupu tepla U_{em} .“

„Hodnotí stavební část budovy (bez technických soustav) z hlediska tepelných toků obálkou budovy, prostupem na nastavené úrovni (požadované, doporučené, pasivní – klesají vůči sobě cca na 3/4 předchozí úrovně).“ [38]

5 TEPELNÉ IZOLACE

Tepelná izolace je důležitým prvkem při výstavbě objektu z hlediska zamezování tepelných ztrát, vzniku tepelných mostů a přehřívání interiéru v letních měsících.. Výrazně přispívá k vytvoření tepelné pohody uvnitř řešeného prostředí.

Dle průzkum typická česká domácnost spotřebuje až 70 % energie na vytápění a tato spotřeba se dá mnohdy významně snížit právě dodatečnou tepelnou izolací. [39]

Dalšími důvody zateplování budov jsou [40]:

- Tepelná úspora
- Bezpečná investice
- Ochrana nosných konstrukcí
- Prodlužování životnosti staveb
- Hygiena
- Estetika

5.1 HISTORIE TEPELNÝCH IZOLACÍ

V historii prodělaly stavební tepelné izolace značný vývoj, z počátku neuvědomělý, ovšem od začátku 20. století se již tepelné izolace používaly zcela cíleně a jejich vývoj šel rychle kupředu. V etapě neuvědomělého používání tepelných izolací se izolovalo v podstatě jakoukoliv hmotou. Takovým příkladem může být třeba obkládání domů palivem připraveným na zimu nebo použití půd jako skladišť sena, což je opět způsob ochrany před krutou zimou. V této oblasti byla vynalézavá především rustikální architektura. Ovšem s podobnými případy se můžeme setkat i jinde ve světě. Zajímavé je i použití odpadních materiálů, zejména popelu, který se používal pro zásyp kleneb a jako výplň dvojitých příček a vůbec všech dutých prostor. Časté byly také hliněné omazávky, sláma a plst. [33]

Z hlediska stavebních materiálů bylo prvním používaným izolantem dřevo a výrobky ze dřeva, ať už ve formě dřevoštěpkových nebo dřevovláknitých desek. Tyto materiály se používaly již na počátku 20. století. Další tepelné izolace na bázi dřeva používané v této době jsou výrobky z korku, drcený a lisovaný korek, asfaltkorek aj. Po těchto nastupují tepelné izolace na bázi voštinových desek z různě upravovaného papíru a další výrobky z papíru. [34]

Další etapou vývoje tepelných izolací jsou pěněné sklo, skleněné a minerální plsti, a poslední skupinou jsou pěněné plasty, které se začínají používat od poloviny 20. století. Dále mohou být pěněny nebo expandovány i jiné horniny a materiály jako např.: struska, experlit, břidlice a jiné. [33]

V současné době je možnost používání libovolných materiálů a technologií, které se ve světě vyskytují. Ovšem v tomto ohledu je nutná jistá informovanost, protože ne každý výrobek je kvalitní a je třeba i zvážit, který výrobek se hodí na jaké použití.



Obr. č. 7 – Historické obydlí s hliněnou omazávkou [37]

5.2 POŽADAVKY NA TEPELNÉ IZOLACE

Obvodové konstrukce mají vnitřní prostředí chránit před exteriérem. V našich klimatických podmínkách je jednou z důležitých vlastností interiérového prostředí teplota vhodná pro uvažovaný provoz. Proto jsou důležitou podmínkou tepelně izolační vlastnosti konstrukcí. Ty se postupně vyvíjely a lze říci, že v současné době jsou požadavky rozsáhle definované a málokterá novostavba je beze zbytku plní.

Máme požadavek na měrnou tepelnou potřebu tepla, povrchovou teplotu konstrukce, tepelný odpor konstrukce a součinitel prostupu tepla. [35]

Tepelný odpor R [m^2KW^{-1}] udává míru odporu proti pronikání tepla. Čím vyšší je tepelný odpor materiálu či konstrukce, tím pomaleji teplo prochází a proto je cílem, aby byl tepelný odpor obálky budovy (podlaha na terénu, obvodové stěny i střecha) co nejvyšší.

Součinitel prostupu tepla, který se většinou označuje písmenem U [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$], charakterizuje tepelně izolační schopnost konstrukce. Dochází však ke zpřesňování a zpřísnění požadavků na tepelné izolace. Přesné požadované hodnoty vždy najdeme v aktuální platné normě. [35]

5.3 DRUHY TEPELNÝCH IZOLACÍ Z HLEDISKA MATERIÁLU

Tepelné izolace dělíme podle materiálu, ze kterého se vyrábějí na (viz tab. č. 4):

- Vlákenné materiály
- Pěněné plasty
- Pěněné silikáty
- Materiály na bázi dřeva a přírodních vláken
- Materiály na bázi papíru
- Minerální materiály
- Materiály nové generace
- Zvláštní tepelné izolace

5.3.1 Součinitel tepelné vodivosti λ

Jedním z hlavních kritérií určujících použití konkrétní tepelné izolace je součinitel tepelné vodivosti λ [W/mK].

„Součinitel tepelné vodivosti λ je definován jako koeficient úměrnosti mezi hustotou tepelného toku (q) v dané látce a záporně vzatým gradientem teploty (T):

$$q = - \lambda \text{ grad } T$$

Je-li tepelný tok homogenní a ustálený, lze tento definiční vztah vyjádřit názorněji:

$$\lambda = \frac{d}{tS\Delta T} Q [W/mK]$$

... kde Q je množina tepla, které za čas t projde mezi dvěma shodnými plochami obsahu S kolmými ke směru toku a vzájemně posunutými v tomto směru o vzdálenost d , je-li mezi nimi rozdíl teplot ΔT . “ [41]

Tab. č. 4 – Tepelné izolační materiály, jejich objemové hmotnosti a součinitelé tepelné vodivosti [7]

Skupina materiálů	Materiál		Objemová hmotnost ρ_v [kg.m ⁻³]	Souč. tep. vod. λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
Vláknité materiály	minerální vlákna	strusková	75	0,037
		čedičová	40	0,038
	skleněná vlákna		50	0,038
	keramická vlákna		130	0,1 - 0,27
	syntetická (textilní) vlákna		35-65	0,03-0,04
Pěněné plasty (pěnoplastické látky)	pénové polystyreny		30	0,035
	pénové polyuretany		35	0,027
	extrudované polystyreny		30	0,03
	pénové fenolické pryskyřice		40	0,04
	pénové rezolové pryskyřice		40	0,04
	pěněný kaučuk		80	0,05
	pěněný Pe (polyethylen)		25	0,026
	pěněné PVC		60	0,043
Další pěněné materiály (pěněné silikáty)	pénové sklo		120	0,044
Materiály na bázi dřeva a přírodních vláken	dřevovláknité		400	0,092
	dřevotřískové		400	0,092
	dřevoštěpkové		600	0,1
	korek	asfaltkorek	250	0,06
		volná korková drť	150	0,058
		lisovaný korek	150	0,058
	rozvlákněné materiály na bázi dřeva		350	0,075
	kokosová vláknina		200	0,85
	piliny a mineralizované hobliny		140	0,06
Materiály na bázi papíru (celulóзовých vláken)	sláma a rákosové rohože		70	0,05
	drcený mineralizovaný starý papír		30	0,039
	voštinové desky		80	0,07
	vlnité desky z asfaltového papíru		60	0,065
Minerální materiály	perlit-expandovaný nebo jinak tepelně upravený		75	0,06
	expandovaná břidlice		80	0,062
	struska-expandovaná nebo strusková pemza		100	0,065
	křemelina		-	-
	keramzit		350	0,11
	popílek		100	0,07
Materiály nové generace	kalciumsilikáty		300	0,063
	aerogel		150	0,004 - 0,016
	vakuové izolace		10	0,008
zvláštní tepelné izolace	na bázi ovčí vlny		13-30	0,035-0,045
	na bázi bavlny		200	0,06
	pet lahve, pneumatiky,...		-	-

5.4 DRUHY VÝROBKŮ Z TEPELNÝCH IZOLACÍ

5.4.1 Desky

Desky mohou mít široké spektrum povrchových úprav, tyto úpravy zlepšují základní mechanické a trvanlivostní vlastnosti izolačních materiálů. Zejména důležité je to u pěněných plastů, u kterých povrchová úprava snižuje velikost objemových změn pěněného materiálu. Především to jsou tenké materiály. [35]

- sulfátový papír a jiné druhy papíru speciálně upravené proti korozi (hnilobě atd.)
- nástřikové nebo nátěrové hmoty, které vytváří pohledovou plochu
- Skelné, polyesterové a jiné textilie
- kovové fólie, především Al
- hydroizolační materiály – živice
- fólie
- tenké fóliové materiály PE neplnící hydroizolační funkci
- deskové materiály – zejména na bázi dřeva
- sádrokartonové desky

Kombinace tepelných izolací:

- tuhé desky z minerálních plstí
- tuhé perlitové desky
- plechy (především Fe)

Z tepelných izolací tak vznikají tepelně izolační panely, ty vznikají také při opláštěvání silnějšími deskovými materiály, které mohou spolupůsobit s deskovými tepelnými izolacemi a vytvořit tak samostatné tepelně izolační panely jak střešní, tak i stěnové. [36]

5.4.2 Rohože

Rohože kromě povrchových úprav mohou mít ještě vnitřní nosič. Jedná se především o následující materiály:

Povrchová úprava:

- papír, včetně tvarovaného (vlnitá lepenka) a jinak upraveného
- PE (polyethylenové) fólie
- Al fólie, Al fólie vyztužená drátěným pletivem

Vnitřní nosič:

- syntetické pletivo z umělých vláken
- drátěné pletivo

5.4.3 Volné (sypané) materiály

Jejich jediným výrobkem jsou matrace, kdy je tento volně sypaný materiál naplněn do pytlů; mohou být různě tvarované, většinou na bázi PE. [35]

5.5 VYBRANÉ TYPY MATERIÁLŮ NA ZATEPLENÍ

5.5.1 Pěnový polystyren EPS

„Je u nás vedle minerálních vln nejrozšířenějším tepelně izolačním materiálem, který vyhrává především cenou.“ [42]

Jde o produkt vyrobený polymerací styrenu a následným zpěňováním. Pěnová struktura obsahuje až 98 % vzduchu vyskytujícího se v malých buňkách v hmotě. Jeho důležitou přísadou jsou retardéry hoření, které zajišťují samozhášivost materiálu. [43]

„Vyrábí se dvěma způsoby. První z nich je vypěňování do forem. Tento materiál má většinou uzavřenou buněčnou strukturu, a proto je velmi málo nasákavý. Obvykle bývá pevnější než pěnový polystyren řezaný z bloků a také dražší. Od pěnového polystyrenu řezaného z bloků se obvykle pozná tak, že má na povrchu plastický název výrobku firmy, která jej vyrobila nebo alespoň znatelný výstupek vzniklý nedokonalým spojením jednotlivých dílů formy.“ [42]

„Druhým typem pěnového polystyrenu je nejznámější výrobek tohoto druhu, a sice pěnový polystyren řezaný z vypěněných kvádrů. Tento materiál má několik nepříznivých vlastností, pro něž se o něm traduje, že se časem ztrácí. To jsou však pouze laická vyjádření důsledků těchto vlastností. První z nich je smršťování do původního nenapěněného stavu. Tato tvarová změna je závislá na teplotě a na čase, která uplynula od výroby.“ [42]

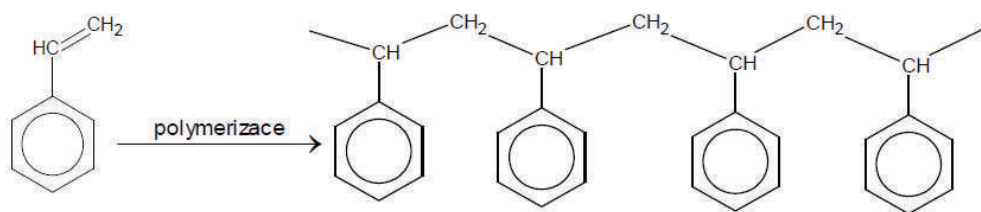
„Při běžných teplotách se tento proces zastaví po několika týdnech. Objemově stabilizovaný pěnový polystyren je tedy ten, který po vypěnění ležel určitou dobu ve skladu a teprve potom byl rozřezán na desky. Jeho druhou nepříznivou vlastností je, že snáší pouze omezenou teplotu. Výrobce uvádí 85 °C (z praxe 70 °C). Poslední nepříznivou vlastností je, že je rozpustný organickými rozpouštědly. Kde tyto vlivy nejsou, není třeba se obávat, že by se v průběhu doby tento materiál „ztratil“. Nedoporučuji jej používat pro zateplování velmi tmavých fasád orientovaných ke slunečnímu záření a dále například na tepelnou izolaci atiky a parapetů.“ [42]

K podkladu se upevňuje pomocí lepení, nebo lepení společně s kotvením pomocí hmoždinek, nebo se vkládají a přichycují do rámu. [43]

Součinitel tepelné vodivosti λ se pohybuje okolo 0,035 W/mK. Např. tzv. šedý pěnový polystyrén vylepšený přísadou uhlíkových nanočástic do polystyrenu před jeho vypěněním má při objemové hmotnosti 15 kg/m³ součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,032$ W/mK a je u něj omezena sálavá složka šíření tepla pěnou. [43]

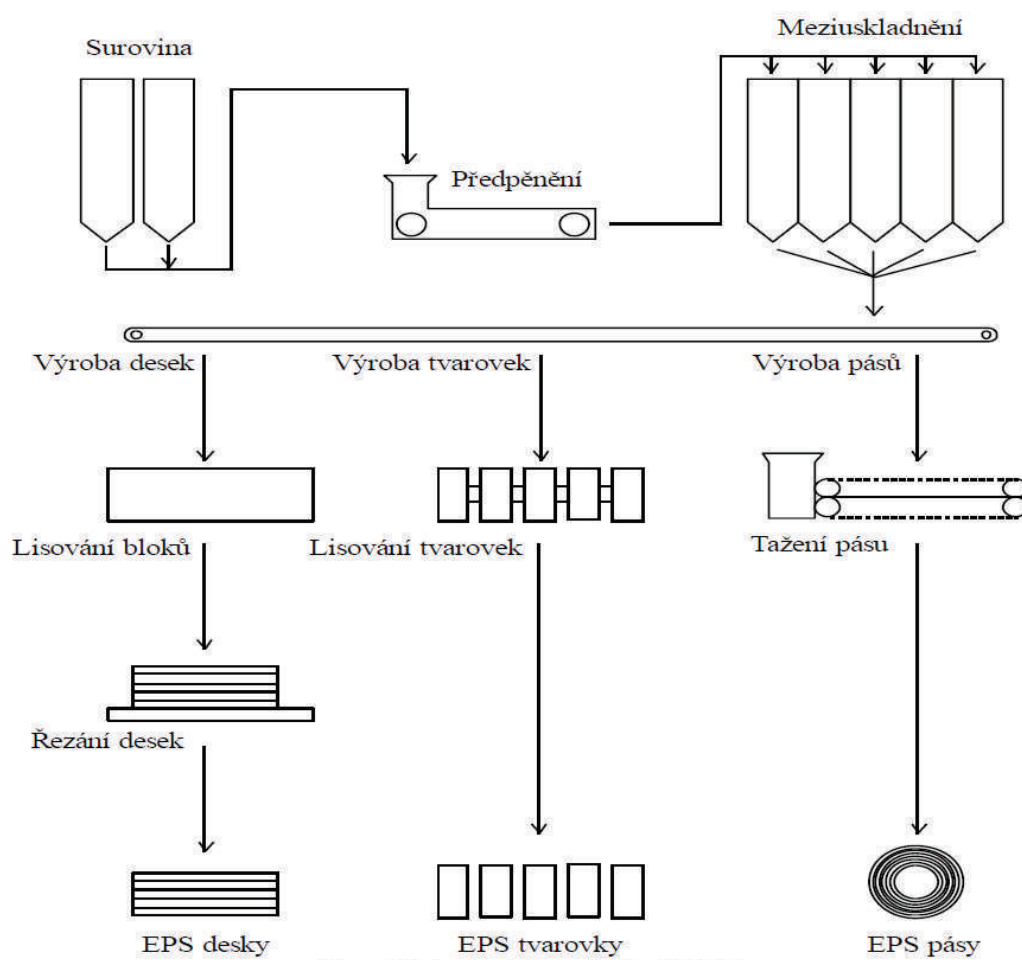


Obr. č. 8 – Isovér EPS 70F a Grafitový polystyrén Isovér EPS Grey Wall [44]



Polymerizace styrenu

- Blokové schéma výroby EPS



Obr. č. 9 – Blokové schéma výroby EPS [36]

Základní fyzikální a mechanické vlastnosti:

- Odolává teplotám od -150 °C do +80 °C
- Dlouhodobě neodolává účinkům UV záření

- Vykazuje v poměru k velmi nízké objemové hmotnosti velmi vysoké mechanické vlastnosti
- Pevnost v tlaku 70–200 kPa při 10% deformaci
- Pevnost v tahu přes 100 kPa
- Objemová hmotnost 15–35 kg/m³
- Velmi nízká dynamická tuhost 0–30 MPam⁻¹ u elastifikovaného polystyrenu
- Nerozpustný v H₂O, nenabobtnává
- Max. objemová nasákavost 4–5 %
- Faktor difúzního odporu 20–100
- Reakce na oheň dle ČSN EN 13501-1 třída B [36]

Tepelně technické vlastnosti:

- Součinitel tepelné vodivosti λ závisí na objemové hmotnosti (nejnižší tepelná vodivost při objemové hmotnosti v rozmezí 30–50 kg/m³), vlastnostech pórové struktury (EPS vykazuje velmi vysokou pórovitost, jeho objem je tvořen z 2 % polystyrenu a z 98 % vzduchu), vlhkostním obsahem (teplotě). [36]

5.5.2 Extrudovaný polystyren XPS

„Tento typ polystyrenu je dražší než pěnový polystyren. Má lepší mechanické vlastnosti, zejména má uzavřenou buněčnou strukturu, čímž se vylepšuje tepelná vodivost a zároveň se snižuje nasákavost. Od pěnového polystyrenu se pozná tak, že se při rozlomení nedrolí na jednotlivé kuličky, ale má stejnorodou strukturu vzduchových bublinek (obdobně jako pěnový polyuretan, tedy např. molitan.“ [42]

Vyrábí se pouze v deskách s tvarovanými okraji (pero a drážka, polodrážka) a tím získává velkou výhodu snižování vzniku tepelných mostů ve spárách. Extrudovaný polystyrén má možnost úpravy z plastbetonu, který slouží jako ochranná vrstva izolace proti mechanickému poškození. S touto úpravou jsou desky vhodné k tepelné izolaci stěn v přímém styku s vlhkostí, tedy pod terénem, u inverzních plochých střech, u konstrukcí s vysokým

zatížením (parkoviště, střešní terasy, průmyslové těžké podlahy apod.) a do příček jako zvuková a kročejová izolace. [43]

Nevýhodou tohoto materiálu je požární hledisko, protože materiál se při hoření zahřívá a odkapává, tudíž je důležité správně zvolené místo aplikace XPS. Při dlouhodobém působení UV záření může docházet k porušení povrchové vrstvy izolace. [45]

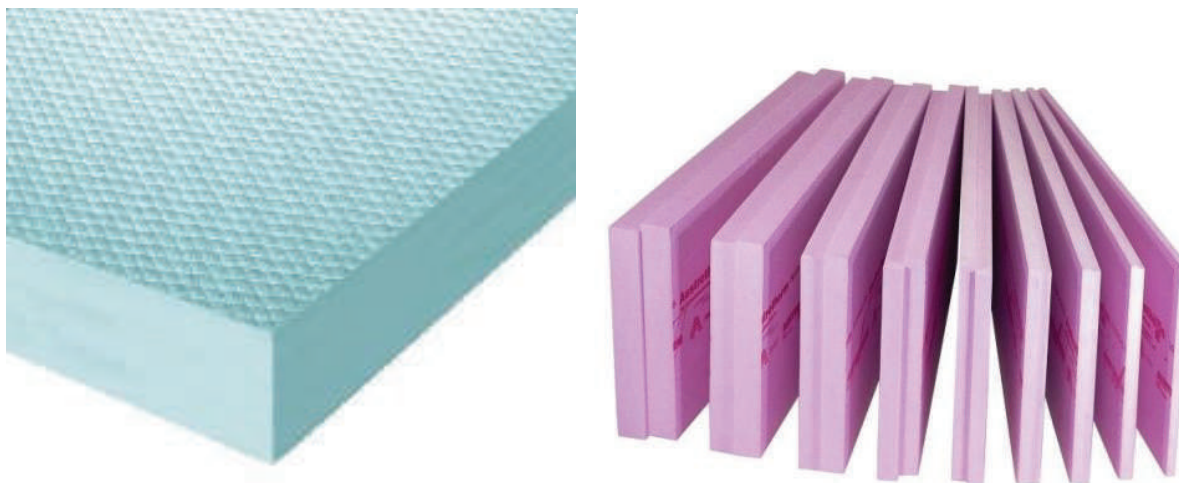
Součinitel tepelné vodivosti pro desku tl. 40 mm se pohybuje okolo $\lambda = 0,030 \text{ W/mK}$ v závislosti na zvoleném výrobcí.

Výroba XPS a polystyrenových desek z XPS:

→ zahřátí polystyrenu spolu s napěňovací přísadou, retardérem hoření a nukleačním činidlem v extrudéru → tekutá pěna → protlačení skrz vytvářecí ústí → chlazení v chladicí části extrudéru za sníženého tlaku. [36]

Základní fyzikální a mechanické vlastnosti:

- Odolává teplotám od -150 °C do $+70 \text{ °C}$
- Neodolává účinkům UV záření
- Ve srovnání s EPS ještě výhodnější poměr objemové hmotnosti a mechanických vlastností
- Pevnost v tlaku XPS desek 300–500 kPa při 10% deformaci
- Objemová hmotnost $30\text{--}40 \text{ kgm}^{-3}$
- Nerozpustný v H_2O , nenabobtnává
- Nenasákavý, max. objemová nasákavost 0,5 %
- Faktor difúzního odporu 100–250
- Reakce na oheň dle ČSN EN 13501-1 třída B
- Uzavřená pórová struktura
- Součinitel tepelné vodivosti $0,029\text{--}0,040 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ [35]



Obr. č. 10 – XPS fasádní FIBRAN ETICS GF I a XPS Austrotherm TOP P GK [46] [47]

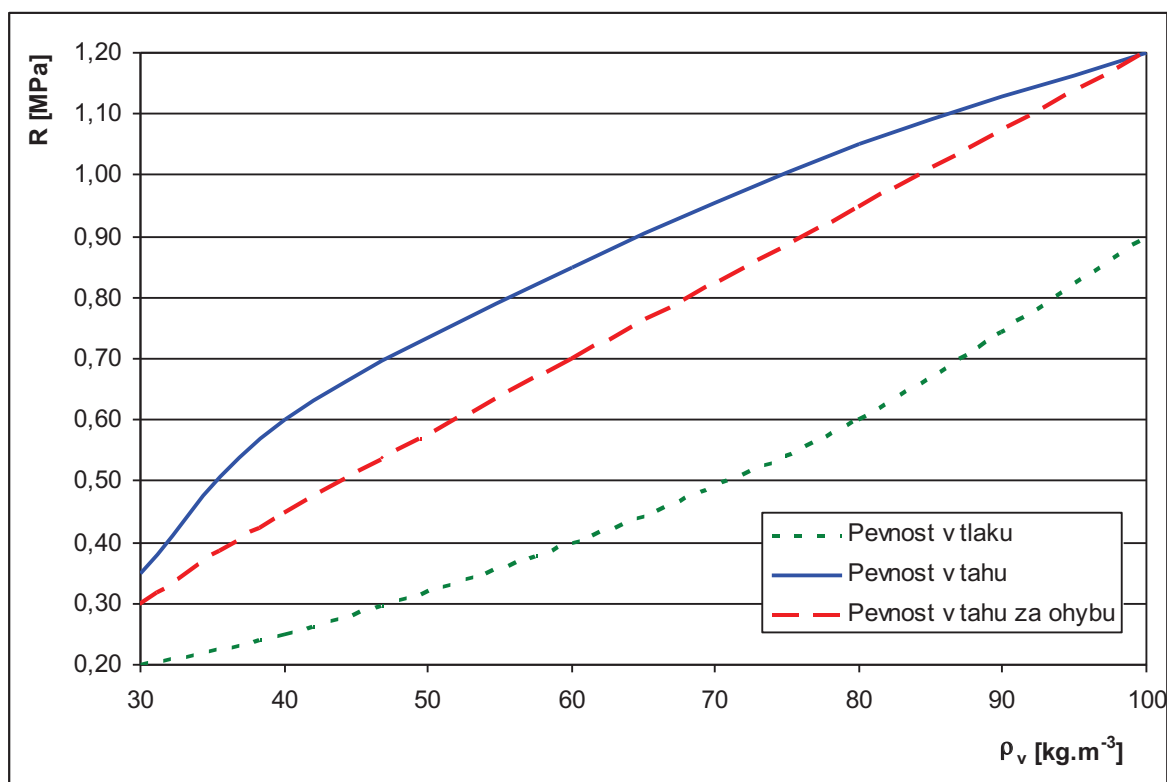
5.5.3 Polyuretanová izolační pěna PUR A PIR

„Jedná se o makromolekulární materiál na organické bázi vzniklý smíšením dvou složek diisocyanátu a směsí vícesytných alkoholů, aktivátorů a katalyzátorů, retardérů hoření a nadouvaděl. Chemickou reakcí vzniká pěna s uzavřenou buněčnou strukturou.“ [43]

Pěnový polyuretan se dodává ve formě desek a dílů, vypěněných do příslušného tvaru v továrně nebo ve formě komponentů stříkaných přímo na stavbě.

Polyisokyanurátová pěna PIR se dodává v podobě desek opatřených z obou stran nějakým povrchem, zpravidla plechem či plastem. Používá se do šikmých i plochých střech. PIR je oproti PUR tužší, má uzavřenou strukturu, tudíž nepřijímá vůbec žádnou vlhkost. Je požárně odolnější, patří do třídy hořlavosti B2 a při vyšší teplotě se neroztéká. Tento materiál odolává dlouhodobě i teplotám větším jak 90 °C a krátkodobě teplotám větším jak 250 °C. [48]

Nejčastěji se ve stavebnictví používá polyuretanová pěna PUR, která je vhodná pro izolaci střech a podlahového vytápění. Tento druh izolace je možno aplikovat i nástřikem, kde po pár vteřinách zvětší svůj objem až 100× a zaplní veškeré potřebné detaily v konstrukci. Velkou výhodou jsou její dobré hydroizolační vlastnosti a minimální nasákavost. Jen vakuum je lepší izolant než PUR. Tato pěna je zdravotně nezávadná (neobsahuje žádné freony ani formaldehydy). S rostoucí objemovou hmotností hodnota součinitele tepelné vodivosti postupně klesá a od 50 kg/m³ začíná postupně znovu narůstat. [49]



Graf. č. 3 – Závislost mechanických vlastností PUR pěny na objemové hmotnosti [36]

Výhody polyuretanové pěny z hlediska fyzikálních a mechanických vlastností:

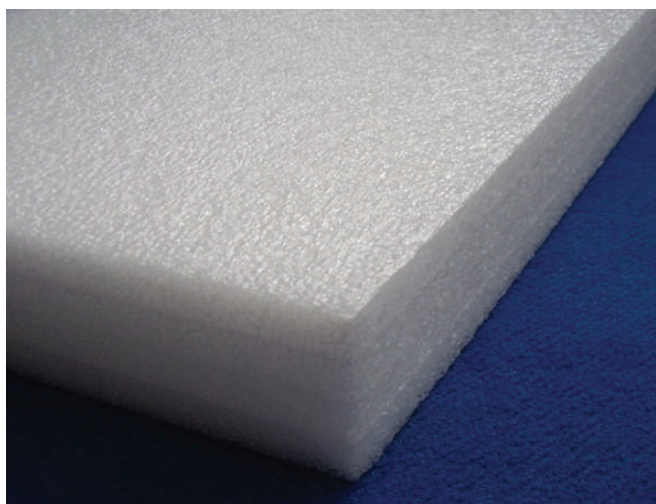
- vyšší odolnost vůči působení vlhkosti
- vyšší mechanické vlastnosti
- objemová stabilita
- extrémně nízká hodnota součinitele tepelné vodivosti 0,023–0,026 Wm⁻¹K⁻¹.
- Reakce na oheň dle ČSN EN 13501-1 třída B [38]



Obr. č. 11 – Ukázka aplikace stříkané PUR pěny [50]

5.5.4 Pěnový polyetylén

„Tento materiál je poměrně drahý. Jeho hlavní výhodou oproti ostatním materiálům je to, že je ohebný. Je také nenasákavý. Používá se proto hlavně jako tepelná izolace potrubí nebo v slabých tloušťkách (2 mm) jako pružná podložka pod plovoucí podlahy. Použitelný je od -40 °C do +80 °C.“ [51]



Obr. č. 12 – Pěnový polyetylén [55]

5.5.5 Minerální vlna MW

„Jedná se u nás vedle pěnového polystyrenu o nejrozšířenější tepelně izolační materiál díky poměru ceny k dobrým tepelně izolačním vlastnostem. Vyrábí se z různých hornin tavením na velmi slabá vlákna a dalším lisováním do příslušných výrobků. Jako prvotní surovina se obvykle používá čedič (kamenná vlna), či křemen a další sklotvorné příměsi (skelná vlna). Předností těchto materiálů je nízký difúzní odpor, dále lehká tvarovatelnost a odolnost proti vysokým teplotám. Existuje široký sortiment výrobků z těchto materiálů a každý má specifické vlastnosti podle určení, kam se výrobek používá. Je proto nutné přesně vědět, jaké obchodní označení má který výrobek a na co je vhodný. Záměna materiálu může vést ke ztrátě jeho vlastností.“ [51]

Dle použité vstupní suroviny rozeznáváme 3 základní typy minerální vlny:

- čedičová vlna
- strusková vlna
- skelná vlna

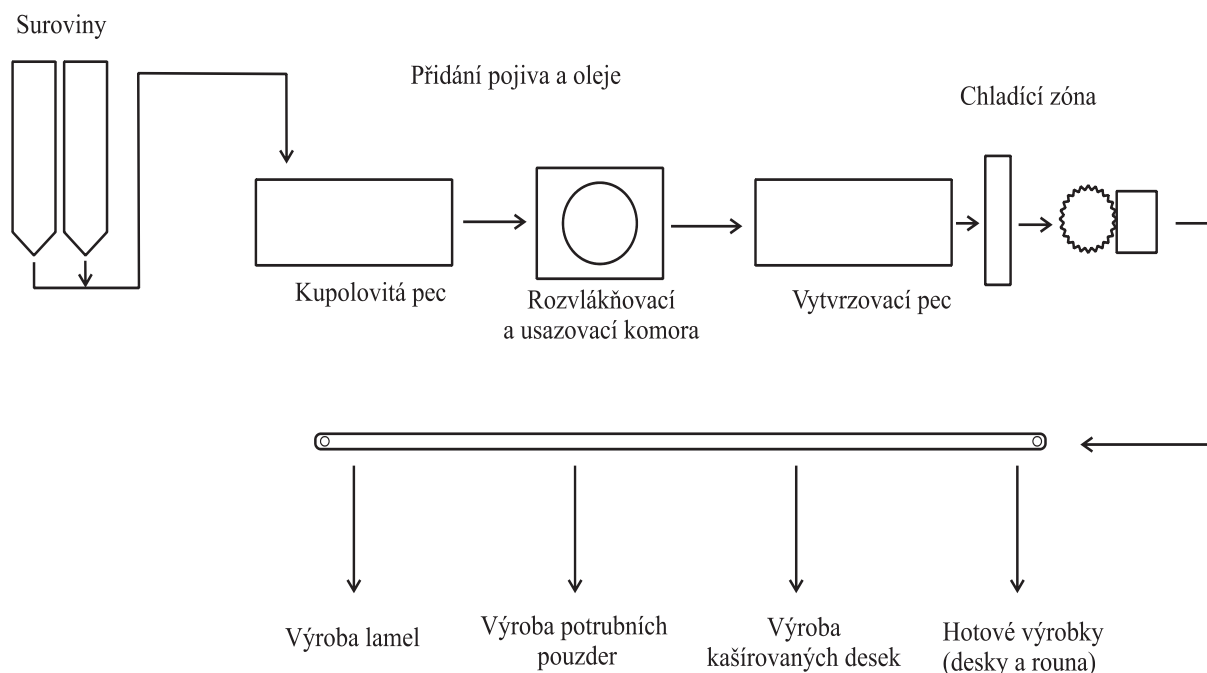
Minerální vata je vhodná i pro zateplení fasádních systémů v požární výšce nad 22,5 m, požární pásy nad otvory ve výšce nad 12 m, jako izolace parovodů a potrubí, izolace kotlů a pecí, jako požární izolace pro zvýšení požární odolnosti nosných částí stavebních konstrukcí.

Dle mechanických vlastností lze rozdělit minerálně vláknité výrobky na:

- nezatížené – stlačitelné materiály, mechanické vlastnosti prakticky zanedbatelné, mechanické vlastnosti nejsou výrobcem deklarovány
- zatížené – mechanické vlastnosti se liší dle použití a druhu izolace

Základní fyzikální a mechanické vlastnosti:

- Napětí při 10% deformaci asi 40 kPa (60 kPa)
- Pevnost v tahu kolmo k desce dle orientace vláken u rohoží 7,5–15 kPa, u lamel až 90 kPa
- Faktor difúzního odporu 1,5–3
- Malá nasákavost do 3 %
- největší předností je vysoká požární odolnost → reakce na oheň dle ČSN EN 13501-1 třída A1 [36]



Obr. č. 13 – Blokové schema výroby MW [36]

Kamenná vlna

„Kamenná vlna se vyrábí roztavením vyvřelé horniny čediče, bazaltu či gabra při vysokých teplotách v peci a následném zformování do rohoží či desek. Izolace ve formě rolí se nejčastěji používají v půdních prostorech a tuhé desky izolace převážně do provětrávaných fasád, dřevostaveb, kontaktních zateplovacích systémů, krovových soustav aj. Při objemové hmotnosti desky minimálně 100 kg/m^3 můžeme izolaci použít i pro zateplení podlah. Zásadní výhoda kamenné vlny je nehořlavost (třída reakce na oheň A1), díky níž můžeme tento materiál využít i do konstrukcí se zvýšeným požadavkem na požární odolnost. U rozvlákněné izolace aplikované foukáním je hlavní výhodou rychlost realizace a možnost tvarové různorodosti, díky které se nejčastěji používá v půdních prostorech. I u tohoto druhu izolace zůstávají skvělé protipožární vlastnosti (třída reakce na oheň A1).“ [52]

Součinitel tepelné vodivosti desky nebo role se pohybuje okolo $\lambda = 0,035$ až $0,045 \text{ W/mK}$ a součinitel tepelné vodivosti rozvlákněné izolace okolo $\lambda = 0,040$ až $0,050 \text{ W/mK}$. [52]



Obr. č. 14 – Kamenná vlna Rockwool [53]

Skelná vlna

Izolace ze skelné vlny i vaty se vyrábí z nového skla, případně recyklací a rozvlákněním skla obalového, do jehož taveniny je pro vylepšení vlastností možné přidat hliník. Díky této úpravě obalením vláken do vinylacetátových disperzí dochází ke snižování lámavosti vlákna a k žádoucímu zvyšování jeho pružnosti. Následně je sklo rozfoukáno na vlákna a z nich jsou pak vytvořeny desky nebo rohože. Použití této izolace je obdobné jako použití kamenné vlny. Nejčastěji jsou použity k mezikrokevnímu izolování, mezi sloupky u skeletových objektů a provětrávaných fasád. I tento druh minerální izolace lze díky svým vlastnostem použít jako požární izolant (třída reakce na oheň A1). I tato rozvlákněná izolace může být aplikována foukáním. Oproti kamenným vláknům má nižší objemovou hmotnost a používá se pro dosažení stejných hodnot součinitele tepelné vodivosti. Součinitel tepelné vodivosti desky nebo role se pohybuje okolo $\lambda = 0,030$ až $0,045$ W/mK.



Obr. č. 15 – Minerální skelná vata Isover [54]

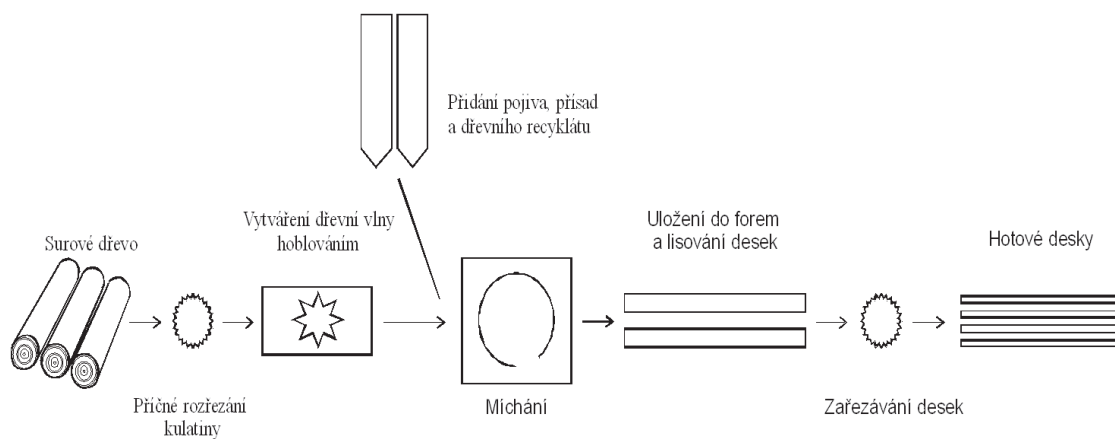
5.5.6 Izolace na bázi dřeva

Na tyto izolace jsou používány obnovitelné suroviny: zbytky dřeva a dřevěných materiálů z lesního hospodářství a dřevozpracujícího průmyslu, např. hobliny, odřezky, kmeny, větve, piliny, opotřebené dřevo, atd. [33]

Dřevocementové desky

Nejvíce rozšířený izolační materiál na bázi dřeva jsou dřevocementové desky známé pod firemním názvem Heraklit nebo Lignát, které jsou nejstarším průmyslově vyráběným tepelně izolačním materiálem. K tomuto materiálu mají dobrou přilnavost klasická stavební pojiva, tedy malta a beton. V současnosti to jsou dvouvrstvé a třívrstvé izolační desky, které se díky své tuhosti kombinují s polystyrenem či minerálním vláknem. [33]

Na výrobu heraklitových desek se používá dřevní vlina (nejčastěji smrková nebo jedlová) ze surového dřeva, která se následně smíchá s cementem, přísadami (mineralizačními a proti plísňovými, urychlujícími tuhnutí a tvrdnutí cementu), dřevním odpadem a vodou. Takto připravená směs se uloží do forem a lisuje se. Poté vyzraje pojivo a desky se mohou zařezávat do požadovaných rozměrů. [36]

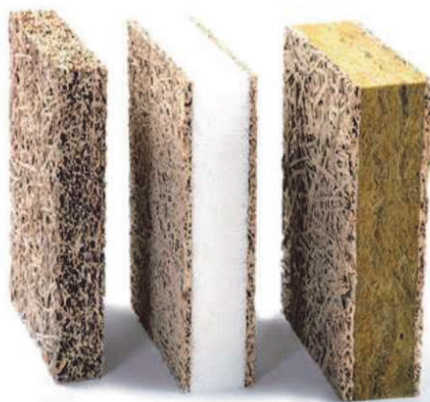


Obr. č. 16 – Blokové schéma výroby heraklitových izolačních desek [36]

Heraklit se používá jako tepelná izolace stěn a stropů s možností použití omítek při dřevěných a skeletových stavbách, tepelně izolační obklad nosníků, průvlaků, pilířů, stropů a obvodových zdí ztracené bednění stropních a věncových konstrukcí, k tepelné izolaci teplovzdušných kanálů, k zhotovení příček a dělicích stěn, k zhotovení půdních vestaveb a bytových jader. [35]

Součinitel tepelné vodivosti (u desek o objemové hmotnosti okolo 50 kg/m^3) se pohybuje okolo $\lambda = 0,07 \text{ W/mK}$ a horší.

Dalším výrobkem izolací z dřevěných surovin jsou třískocementové desky známé pod obchodním názvem např. Velox. Hlavními složkami těchto desek jsou dřevěné hobliny a cement s chloridem vápenatým. Tyto směsi se vlévají do forem o různých tloušťkách a vytvářejí se z nich desky různých pevností. Horní vrstva desky má pórovitý povrch pro usnadnění následné aplikace omítky. [43]



Obr. č. 17 – Dřevovláknité desky Heraklith, Heratekta (Heraklit + polystyren) a Tektalan (Heraklit + kamenná vlna) z nabídky Knauf Insulation [56]

Dřevovláknité desky

„Izolace se vyrábí z dřevních vláken s přidavkem síranu hlinitého a zpevňujících plnidel popřípadě dalších přísad (např. hydrofobizované přísady vodního skla a parafinu). Deskové dřevovláknité izolace je možno využít pro výplně sloupkových konstrukcí. Ve větších objemových hmotnostech se užívají jako fasádní izolace či nadkroevní tepelná izolace, kde mohou některé typy desek díky silné hydrofobizaci zastat funkci pojistné hydroizolace. Tuhé desky je možné využít i pro izolaci podlah. Třidu reakce na oheň mají E.“ [60]

„Vlastnosti se mění s objemovou hmotností. Desky o objemové hmotnosti okolo 50 kg/m^3 jsou dobře stlačitelné a jejich součinitel tepelné vodivosti se pohybuje okolo $\lambda = 0,039$ až $0,045 \text{ W/mK}$. Dřevovláknité desky s objemovou hmotností $250\text{--}300 \text{ kg/m}^3$ mají pevnost v tlaku cca 200 kPa a v tahu okolo 30 kPa (možnost přímého kotvení roštů fasády či laťování střechy) a jejich součinitel tepelné vodivosti se pohybuje v rozmezí $\lambda = 0,040\text{--}0,055 \text{ W/mK}$.“ [60]



Obr. č. 18 – Dřevovláknité desky Pavatex a Steico [60]

5.5.7 Izolace na bázi papíru

Tato izolace je vyrobena z obnovitelných surovin. Základní hmotou je starý odpadní papír, který se rozvlákní a vylepší boraxem a kyselinou boritou proti hoření a proti biologickému napadení. Tyto přísady vylepšují vlastnosti papírové hmoty natolik, že splňují hygienické a požární požadavky. [43] Při její výrobě je důležitý takový postup, který co nejméně porušuje buničitá vlákna, jinak má hmota větší objemovou hmotnost a tím i nižší tepelně izolační účinek. [51]

Izolace se aplikuje volným sypaním nebo foukáním pomocí speciálního zařízení přímo na místo určení. Tímto přístrojem se materiál lépe zhutní a zkompaktní. Aby časem nedocházelo k sedání, je možné při aplikaci na šikmou stěnu do směsi přimíchat např. lepidlo aj. [43]

U nás je tato izolace známá pod obchodním názvem Climatizér plus. Použitelnost této izolace je v rozmezí -50 °C až +105 °C. Součinitel tepelné vodivosti je $\lambda =$ až 0,037 W/mK. [51]



Obr. č. 19 – Ukázka foukané izolace Climatizer Plus [57]

5.5.8 Pěnové sklo

Pěnové sklo se vyrábí z vytaveného skla rozemletého na jemné prachové částice smíchané s uhlíkem stejné konzistence. Tato směs se ve formách zahřívá až na teplotu 1 000 °C, při níž dochází i k oxidaci uhlíku na CO₂. Tento proces zajistí, že se v materiálu utvoří vzduchové dutiny, které touto reakcí až zdvacetinasobí svůj objem. Následuje snižování teploty během kterého při teplotě 750 °C dochází k tuhnutí a ochlazuje se až na 20 °C. [43]

Izolace se dodává buď ve formě desek nebo drti. Drť se vyrábí totožným způsobem, jen se mechanicky rozláme na úlomky do velikosti maximálně 60 mm. Drť se často používá jako tepelná izolace pochozích střech nebo základů dřevostaveb. U základů má pěnové sklo funkci jak tepelně izolační tak i drenážní díky nulové nasákavosti drti. [58]



Obr. č. 20 – Desky a štěrky z pěnového skla Refaglass [59]

5.5.9 Ovčí vlna

Tento materiál se používá poměrně nově. Vyrábí se z chemicky ošetřené ovčí vlny kolmým všíváním do nosné tkaniny. Není vhodné používat neupravenou ovčí vlnu, která je náchylná k napadení nejrůznějšími škůdci (např. moly). Jde o ekologický materiál. Jeho předností je hydroskopičnost a zároveň dokáže uvolňovat vlhkost do ovzduší. Je vhodný například na tepelné izolace ekologických dřevostaveb. [36]

Základní surovina je s tavidly roztavena v kupolové peci. K roztavení suroviny dochází v závislosti na jejím složení a na přídavku taviv přibližně okolo teploty 1500 °C. [36]

„S ovčí vlnou se manipuluje lépe než s ostatními vláknitými izolačními materiály, protože je přirozeně pružná, po stlačení se opět roztáhne do volného prostoru a může tak s velkou přesností utěsnit i nepravidelné dutiny. Ovčí vlna má schopnost adsorbovat škodliviny, jako je například ozon nebo formaldehyd, z ovzduší interiéru. Ovčí vlna na sebe dokáže vázat velké množství vody (až 33 % vlastní váhy), aniž by se narušily její tepelně izolační schopnosti. Přijímá a na druhou stranu zase uvolňuje vlhkost ze vzduchu a může tak regulovat a navozovat přirozené klima v místnosti. Nehoří, je samozhášivá a při teplotách nad 560 °C se škvarí.“ [60]

Základní fyzikální vlastnosti:

- součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,045 \text{ W/mK}$
- faktor difuzního odporu $\mu = 1\text{--}2$
- objemová hmotnost $\rho = 13\text{--}30 \text{ kg/m}^3$
- třída reakce na oheň E [60]



Obr. č. 21 – Izolace z ovčí vlny [61]

5.5.10 Izolace z technického konopí

„Skládají se z konopného pazdeří, konopného vlákna a příměsí sody k omezení hoření a plísni. Používá se k výplním dřevěných konstrukcí krovů nebo stěn a stropů dřevostaveb. Ve slabých rohožích je využívána jako výplň mezi prvky srubových staveb. Tepelná kapacita konopných materiálů je $c = 1600 \text{ J/kgK}$. Velmi podobné vlastnosti jako izolace z technického konopí má i izolace ze lnu.“ [60]

Dodávají se ve formě rolí, rohoží a měkkých desek. Jejich součinitel tepelné vodivosti je $\lambda = 0,045 \text{ W/mK}$, faktor difuzního odporu $\mu = 1\text{--}2$, objemová hmotnost $\rho = 30\text{--}100 \text{ kg/m}^3$ a třídu reakce na oheň mají E. [60]



Obr. č. 22 – Měkké desky izolace Canabest [60]

5.5.11 Perlit

„Vyrábí se z perlitů, což jsou horniny expandované zahřátím na vysokou teplotu. Tím dojde k uvolnění vázané vody, která způsobuje její napětí. Jde tedy o čistě přírodní materiál, jenž snáší vysokou teplotu. Je vodou nasákavý. Proto může být použit pouze tam, kde se žádná voda, ani kondenzovaná, nevyskytuje. Objemová hmotnost se pohybuje od 100 do 250 kg/m³. Je možné z něj vyrábět beton nebo maltu pro zdění i omítání. Jejich fyzikální hodnoty pak závisí na složení použité směsi.“ [62]



Obr. č. 23 – Perlit [63]

5.5.12 Keramzit

„Keramzit je obdobně jako perlit vyráběný expandací z přírodních surovin – jílu. Snáší velmi vysoké teploty až 1050 °C, má velkou pevnost v tlaku. Používá se i jako lehčivo do betonů. Může se s jeho pomocí vyrobit i předpjatý lehčený beton, což je český světový unikát.“ [62]



Obr. č. 24 – Keramzit [64]

6 PRAKTICKÁ ČÁST

Po teoretickém uvedení do problematiky přecházíme na část praktickou. V praktické části bude představen posuzovaný bytový dům Modřín. Seznámíme se se současným stavem objektu, účelem stavby, její polohou a s použitými stavebními materiály. Následovat bude prezentace tří variant možného zateplení stávajících obvodových konstrukcí. Všechny návrhy z tepelně-technického pohledu posoudím v programu Teplo 2010. Dále vypočtu náklady spojené s provozováním této nemovitosti pomocí programu Národního kalkulačního nástroje NKN II a poté pomocí rozpočtovacího programu BUILDpowerS vypočítám náklady na realizaci zateplení pro všechny tři navržené varianty. Na závěr vypočítám ekonomickou návratnost investic do zateplení objektu a výsledky zhodnotím.

Jako podklad pro analýzu vlivu zateplení použiji projektovou dokumentaci bytového domu a podklady získané z osobní prohlídky tohoto rozestavěného objektu.



Obr. č. 25 – Vizualizace přibližného budoucího vzhledu bytového domu Modřín

6.1 POPIS ŘEŠENÉHO BYTOVÉHO DOMU MODŘÍN

Bytový dům je zatím ve fázi výstavby. Dostavěn a kompletně dodělán by měl být ještě tento rok. V současné době již stojí hrubá stavba, která je prozatím u stěn nad terénem bez kontaktního zateplovacího systému. Zatepleny jsou pouze obvodové stěny v podzemním podlaží, strop nad suterénem a plochá střecha objektu. Mým úkolem je porovnat variantu

bez kontaktního zateplovacího systému jak je stavba v současné době a dále navrhnout tři možné materiálové varianty na zateplení a vyhodnotit jejich vhodnost pro tento objekt.

6.1.1 Popis objektu

Bytový dům Modřín se nachází v Lysé nad Labem. Lysá nad Labem je město v okrese Nymburk ve Středočeském kraji. Leží v úrodné nížině při řece Labi, 14 km západně od Nymburka.

Objekt je se svými 18 byty určen jako stavba pro bydlení. Je navržen s jedním podzemním podlažím kde se nachází sklepní kóje, výtahová šachta, kočárkárna, technická a úklidová místnost a čtyřmi nadzemními podlažními s byty. Ze statického hlediska se jedná o zděný stěnový systém s monolitickými stropními deskami.

Svislé konstrukce

Nosné vertikální konstrukce tvoří stěny z vápenopískových cihel a lokálně sloupy nebo pilíře z monolitického železobetonu. Některé vnitřní nosné stěny a výtahová šachta jsou navrženy jako železobetonové v tl. 200 mm.

Zdivo a příčkovky jsou navrženy z vápenopískového zdiva VAPIS . Zdivo nadzemních podlaží je navrženo z vápenopískových přesných tvárnic pro tenkovrstvou maltu VAPIS KS-quadro, obvodové stěny v tl. 200 mm, schodišťové stěny a vnitřní nosné stěny v tl. 240 mm.

Vnitřní příčky se navrhuji z tvarovek VAPIS KS tl. 70 mm a 115 mm. Tvarovky v tloušťce 115 mm a objemové hmotnosti splňující požadavky pro akusticky chráněné místnosti, (v koupelnách a WC budou použity bloky do vlhkého prostředí + přízdívky).

Tvárnice Ytong jsou určeny pro přízdívky v koupelnách a WC a zdivo střešní atiky. Instalční přízdívky v koupelnách budou provedeny z příčkovek Ytong P2-500 tl. 100 mm a za WC budou z příčkovek tl. 150 mm. Zdí se na tenké maltové lože tl. 1-3 mm.

Vodorovné konstrukce

Jednotlivé stropní desky jsou navrženy jako obousměrně pnuté, podepřené stěnami a sloupy. Balkóny jsou navrženy v desce nad 1.NP až 3.NP s přerušným tepelným mostem ISO-nosníky.

Překlady nad otvory nosných stěn budou tvořeny systémovými doplňky VAPIS (U-pláště s vybetonovaným železobetonovým trámem, systémové překlady).

SDK podhled - z desek tl. 15 mm šroubované na pozink. ocelový rošt, s vloženou minerální vlnou tl. 40 mm, s bandáží spár a spojů, vystěrkování, kovových skrytých nárožních lišt tvaru „Y“, maleb a nátěrů.

Schodiště

Konstrukce schodišť je železobetonová s pružně uloženými schodišťovými rameny. Na stupnicích a podstupnicích je keramický obklad, v 1.PP epoxidová stěrka. Jedná se o dvojramenná a trojramenná schodiště.

Zastřešení

Střecha objektu je navržena plochá, nepochozí s klasickým pořadím vrstev na ŽB stropní desce 4.NP.

Střešní plášť bude tvořit dvouvrstvá asfaltová krytina z SBS modifikovaných pásů. Tepelná izolace bude lepena na asfaltový pás. Na spádovou vrstvu Porimentu bude natavena parozábrana asfaltový pás s hliníkovou vložkou Dekbit AL S40 je nalepena na dílce polystyrenové izolace EPS 100S. tl. tep. izolace 260 mm. Spodní pás dvouvrstvé hydroizolace bude ze samolepícího asfaltového pásu.

Tepelné izolace

Obvodová stěna v suterénu je zateplena extrudovaným polystyrénem XPS tl. 120 mm a od hloubky 1 m pod terénem je polystyren ztenčen na 50 mm. Extrudovaný polystyren je vytažen 500 mm nad úroveň terénu. Obvodové stěny v nadzemních podlažích zatím nejsou zateplené.

Ve střeše jsou dílce pěnové polystyrenové izolace EPS 100S tloušťky 260 mm, λ 0,037 W/(mK). Terasy nad nevytápěným prostorem jsou zaizolovány spádovými klíny EPS 150S tloušťky 180-230 mm.

SDK podhledy mají vloženou minerální vlnu tl. 40 mm. Stropy ve schodišťovém prostoru a v suterénu jsou zateplený tepelnou izolací Multipor.

Hydroizolace

Stavba je proti zemní vlhkosti a radonu izolována asfaltovými pásy vyztuženými Al fólií.

Výplně otvorů

Garážová vrata budou systémová sekční. Ovládání vrat dálkovým ovladačem - pagerem. Ocelové nosné prvky - povrch pozinkovaný. Možnost manuálního otevření z interieru. Vrata budou s automatickým zavíráním. Vrata budou osazena včetně odhlučňovací sady, motor bude frekvenčně ovládán. Dorazy a závěsy budou opatřeny gumovými členy, silomery.

Okna a balkónové dveře budou dřevěná z europrofilů tl. 78 mm s izolačním trojsklem. Mikroventilace oken bude řešena tzv. 4. polohou kliky. Ta zajistí bezpečnost okna při jeho otevření o cca 5 mm.

Hlavní vstupní dveře do objektu a v zádveří – hliníkové prosklené dveře, sv. rozměr š. 900 mm. Dveře budou hliníkové s přerušeným tepelným mostem a budou vyrobeny jako dveře vstupní do objektu (tj. s vysokou četností užívání), úprava prahu systémovou dvevní nerez lištou max. výš. od čisté podlahy do 20 mm. Kování systémové, doplněné samozavíračem, prosklení nerozbitným sklem tvrzeným a lepeným (kaleným). Vstupní dveře budou vybaveny mechanickým samozamykacím zámkem, umožňujícím z vnitřní strany vždy volný průchod.

Dveře do bytových jednotek jsou navrženy bezpečnostní s kovovou zárubní.

Způsob vytápění a ohřevu TUV

Zdrojem tepla pro teplovodní vytápění a ohřev TUV objektu bude objektová plynová kotelna s 1 nástěnným kondenzačním kotlem o jednotkovém výkonu 49,5 kW zapojeným do kaskády s ekvitermní regulací teploty topné vody. Ohřev TUV bude proveden v nepřímotopném akumulacním zásobníku 2000 l.

Bytové jednotky bytového domu Modřín budou vytápěny teplovodně pomocí otopných těles.

Zdroj tepla 1 plynový kondenzační kotel a zásobník TUV 2000 l je dimenzován pro provoz bez solárních kolektorů.

Zemní plyn bude v objektu sloužit pro vytápění objektů a přípravu TUV. Plynová kotelna je umístěna v prostoru 1.PP. Plynová přípojka bude napojena na nový plynovod budovaný v rámci výstavby okolních bytových domů.

Vzduchotechnika

V podkladech, které byly poskytnuty pro vypracování této diplomové práce, vzduchotechnika není nijak specifikována. Návrh vzduchotechnického zařízení není

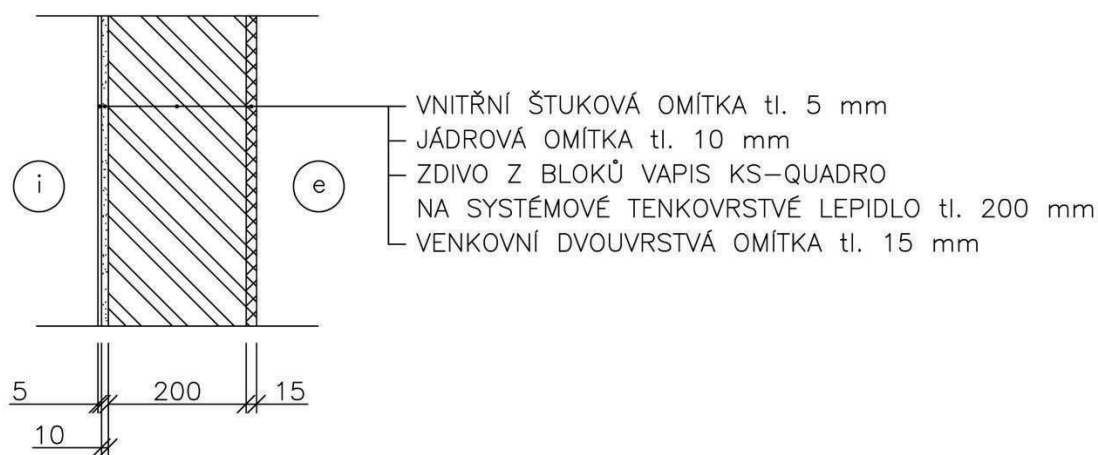
předmětem této práce, tudíž s ní pro tyto účely není počítáno. Proto je ve výpočtech uvažováno s větráním přirozeným.

6.2 NAVRŽENÉ VARIANTY ZATEPLENÍ OBÁLKOVÉ KONSTRUKCE BYTOVÉHO DOMU MODŘÍN

Stávající konstrukce bez zateplení

V současné době je bytový dům Modřín ve výstavbě a prozatím bez zateplení obvodových stěn. Mým úkolem je určit nejvhodnější způsob a materiál pro zateplení tohoto objektu.

Nosné obvodové zdivo je z vápenopískových bloků Vapis KS-QUADRO. Pro posouzení v programu Teplo 2010 použijeme pro vápenopiskové zdivo povrchové úpravy, které se do budoucna uvažují.

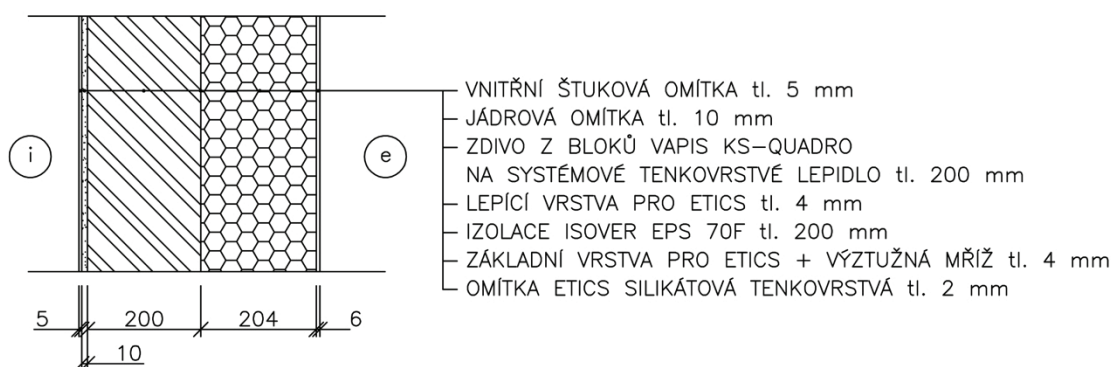


Obr. č. 26 – Skladba stávající konstrukce objektu bez zateplení s povrchovými úpravami, které se do budoucna uvažují

Varianta 1. zateplení pěnovým polystyrenem ISOVER EPS 70F

V prvním zvoleném souvrství ETICS bylo využito tepelného izolantu na bázi suspenze polymerního styrenu – pěnového neboli expandovaného polystyrénu. Tento polystyrene má typickou bílou barvu.

Je to velmi využívaný materiál, který je cenově příznivý, lehký a dobře opracovatelný. Buhužel jde o neekologický materiál, který je nasákavý, difuzně uzavřený a nesnáší se s organickými rozpouštědly. Využívá se proto na objekty, u kterých není vyžadováno „dýchání“ celého souvrství.



Obr. č. 27 – První navržená varianta skladby obvodové konstrukce se zateplením pomocí pěnového polystyrenu
ISOVER EPS 70F

Varianta 2. zateplení minerální vatou KNAUF Insulation FKD

V následující skladbě je využito tepelně izolačních desek na bázi minerální vaty. Zbarvení této izolace může být různé od žluté až po hnědou v závislosti na přidaných příměsích.

Minerální vata se vyznačuje výbornými tepelně izolačními a akustickými vlastnostmi. Oproti polystyrenu jde o akusticky měkký materiál, s difuzní otevřeností a nehořlavostí. Nevýhodou je dočasná hydrofobizace (v případě navlhnutí ztrácí své vlastnosti), proto se nesmí nechávat ve vlhkém prostředí a včas se musí opatřit vnějšími úpravami.



Obr. č. 28 – Druhá navržená varianta skladby obvodové konstrukce se zateplením pomocí minerální vaty
KNAUF Insulation FKD

Varianta 3. zateplení s deskami z tuhé fenolické pěny Resolution – Baumit

V této variantě jsou pro zateplení použity desky z fenolické pěny. Tento materiál je poměrně nový a zatím poněkud méně rozšířený.

Vyrábí se napěněním fenolformaldehydových pryskyřic s povrchovou úpravou z minerální vaty. Má vynikající tepelné vlastnosti a proto se může používat v menších tloušťkách než klasické tepelné izolace. Má dobrou požární odolnost a proto u něho nemusí být pásy z minerální vaty.

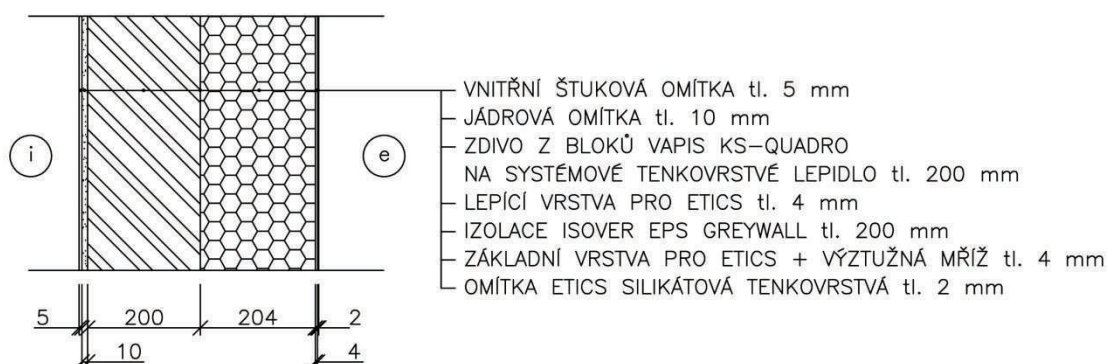


Obr. č. 29 – Třetí navržená skladba obvodové konstrukce se zateplením pomocí desek z fenolické pěny Resolution Baumit

Varianta 4. zateplení pěnovým polystyrenem ISOVER EPS GreyWall

Poslední navržená skladba vnějšího zateplovacího systému využívá tepelný izolant EPS s příměsí grafitu, který dodává tepelně izolačním deskám typický šedý odstín. Je to nejnovější typ expandovaného polystyrénu ve stavebnictví.

Vyznačuje se velmi dobrými izolačními účinky, je méně nasákavý než klasický polystyrén a lehce se zpracovává. Mezi nevýhody patří nesnášenlivost přímého slunečního světla.



Obr. č. 30 – Čtvrtá navržená varianta skladby obvodové konstrukce se zateplením pomocí pěnového polystyrenu s příměsí grafitu ISOVER EPS GreyWall

6.3 TEPELNĚ TECHNICKÉ POSOUZENÍ VARIANT SKLADEB OBVODOVÝCH KONSTRUKCÍ

Pro výpočty a posouzení tepelně technického řešení jednotlivých variant zateplení jsem použila program Teplo 2010.

„Program Teplo 2010 je určen pro základní tepelně technické posouzení skladby stavební konstrukce z hlediska prostupu tepla a vodní páry. Umožňuje detailní výpočet tepelného odporu a součinitele prostupu tepla, vnitřní povrchové teploty, poklesu dotykové teploty podlahové konstrukce, rozložení teplot a tlaků vodní páry v konstrukci a oblasti kondenzace a roční bilance zkondenzované vodní páry. Zohledňuje požadavky ČSN 730540-2 a STN 730540-2 a postupy ČSN 730540-4, EN ISO 6946 a EN ISO 13788.“ [10]

Hodnoty používané ve výpočtu

Návrhová vnitřní teplota θ_i : 20,0 °C

Návrhová venkovní teplota θ_{ae} : -17,0 °C

Teplota na vnější straně θ_e : -17,0 °C

Návrhová teplota vnitřního vzduchu θ_{ai} : 20,6 °C

Relativní vlhkost interiéru φ_i : 38,10 %.

Skladby konstrukcí a hodnoty vstupující do výpočtu

Tab. č. 5 – Tabulka hodnot vrstev stávající obvodové konstrukce s budoucími uvažovanými povrchovými úpravami

Stávající konstrukce - obvodová stěna z bloků Vapis KS-QUADRO				
Číslo	Název vrstvy	d [m]	λ [W/mK]	Mi [-]
1	Vnitřní štuková omítka	0,005	0,800	12,0
2	Jádrová omítka	0,010	0,037	50,0
3	Zdivo z bloků Vapis KS-QUADRO na systémové tenkovrstvé lepidlo	0,200	0,990	15,0
4	Venkovní dvouvrstvá omítka	0,015	0,800	12,0

Tab. č. 6 – Tabulka hodnot vrstev zateplení obvodové konstrukce varianty č. 1

Varianta č. 1 - zateplení tepelnou izolací ISOVER EPS 70F (pěnový polystyren)				
Číslo	Název vrstvy	d [m]	λ [W/mK]	Mi [-]
1	Vnitřní štuková omítka	0,005	0,800	12,0
2	Jádrová omítka	0,010	0,037	50,0
3	Zdivo z bloků Vapis KS-QUADRO na systémové tenkovrstvé lepidlo	0,200	0,990	15,0
4	Lepicí vrstva pro ETICS	0,004	0,570	20,0
5	Izolace ISOVER EPS 70F	0,200	0,039	1,3
6	Základní vrstva pro ETICS + výztužná mříž	0,004	0,700	121,0
7	Omítka ETICS silikátová tenkovrstvá	0,002	0,037	50,0

Tab. č. 7 – Tabulka hodnot vrstev zateplení obvodové konstrukce varianty č. 2

Varianta č. 2 - zateplení tepelnou izolací KNAUF Insulation FKD (minerální vata)				
Číslo	Název vrstvy	d [m]	λ [W/mK]	Mi [-]
1	Vnitřní štuková omítka	0,005	0,800	12,0
2	Jádrová omítka	0,010	0,037	50,0
3	Zdivo z bloků Vapis KS-QUADRO na systémové tenkovrstvé lepidlo	0,200	0,990	15,0
4	Lepicí hmota	0,004	0,570	20,0
5	Izolace KNAUF Insulation FKD	0,200	0,038	2,0
6	Stěrková hmota s výztužnou mříží	0,008	0,700	121,0
7	Omítka venkovní silikátová	0,004	0,700	37,0

Tab. č. 8 – Tabulka hodnot vrstev zateplení obvodové konstrukce varianty č. 3

Varianta č. 3 - zateplení tepelnou izolací Resolution Baumit (desky z fenolické pěny)				
Číslo	Název vrstvy	d [m]	λ [W/mK]	μ [-]
1	Vnitřní štuková omítka	0,005	0,800	12,0
2	Jádrová omítka	0,010	0,037	50,0
3	Zdivo z bloků Vapis KS-QUADRO na systémové tenkovrstvé lepidlo	0,200	0,990	15,0
4	Lepicí hmota	0,004	0,570	20,0
5	Izolace Resolution - Baumit	0,140	0,022	50,0
6	Stěrková hmota s výztužnou mříží	0,008	0,700	121,0
7	Omítka venkovní silikátová	0,004	0,700	37,0

Tab. č. 9 – Tabulka hodnot vrstev zateplení obvodové konstrukce varianty č. 4

Varianta č. 4 - zateplení tepelnou izolací ISOVER EPS GreyWall (pěn. polystyren)				
Číslo	Název vrstvy	d [m]	λ [W/mK]	Mi [-]
1	Vnitřní štuková omítka	0,005	0,800	12,0
2	Jádrová omítka	0,010	0,037	50,0
3	Zdivo z bloků Vapis KS-QUADRO na systémové tenkovrstvé lepidlo	0,200	0,990	15,0
4	Lepicí vrstva pro ETICS	0,004	0,570	20,0
5	Izolace ISOVER EPS GreyWall	0,200	0,032	1,3
6	Základní vrstva pro ETICS + výztužná mříž	0,004	0,700	121,0
7	Omítka ETICS silikátová tenkovrstvá	0,002	0,037	50,0

6.3.1 Požadavek na splnění součinitele prostupu tepla (čl. 5.2 v ČSN 730540-2)

Tab. č. 10 – Tabulka vypočítaných hodnot součinitele prostupu tepla, jejich porovnání a vyhodnocení

Součinitel prostupu tepla	Stávající konstrukce	Varianta č. 1	Varianta č. 2	Varianta č. 3	Varianta č. 4
Požadavek U_N [W/m ² K]	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Vypočítaná hodnota U [W/m ² K]	1,55	0,19	0,18	0,16	0,16
Porovnání	$U > U_N$	$U < U_N$	$U < U_N$	$U < U_N$	$U < U_N$
Vyhodnocení požadavku	Nesplněn!	Splněn!	Splněn!	Splněn!	Splněn!

Z vyhodnocení vyplývá, že stávající nezateplená konstrukce požadavek na součinitele prostupu tepla nesplňuje, protože vypočtený prostup tepla $U = 1,55 \text{ W/m}^2\text{K}$ je v porovnání

s normovým požadavkem $U_N = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ vyšší. Následující čtyři navržené varianty zateplení tuto hodnotu splňují.

Ze všech variant je nejlépe hodnocená varianta č. 3 zateplení deskami z fenolické pěny Resolution Baunit s vypočtenou hodnotou součinitele prostupu tepla $U = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$ a varianta č. 4 zateplení polystyrenem Isover EPS GreyWall se stejnou vypočtenou hodnotou součinitele prostupu tepla $U = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$. Pokud vezmeme v potaz navržené tloušťky tepelné izolace, nejlépe hodnocená je tedy izolace Resolution Baunit, u které bylo navrženo pouze 140 mm izolantu oproti ostatním navrženým tloušťkám 200 mm.

Jako třetí se umístila varianta č. 2 zateplení minerální vatou KNAUF Insulation FKD a v porovnání s ostatními zateplenými variantami nejhůře skončila varianta č. 1 zateplení polystyrenem Isover EPS 70F.

6.3.2 Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)

Konstrukce musí splňovat následující tři požadavky:

1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce – vyhodnocuje projektant
2. Roční množství kondenzátu $M_{c,a}$ musí být nižší než roční kapacita odparu $M_{ev,a}$.
3. Roční množství kondenzátu $M_{c,a}$ musí být nižší než $0,5 \text{ kg/m}^2 \text{ rok}$, nebo 5 % z plošné hmotnosti materiálu (posuzujeme s nižší hodnotou).

Tab. č. 11 – Vyhodnocení požadavků na šíření vlhkosti konstrukcí

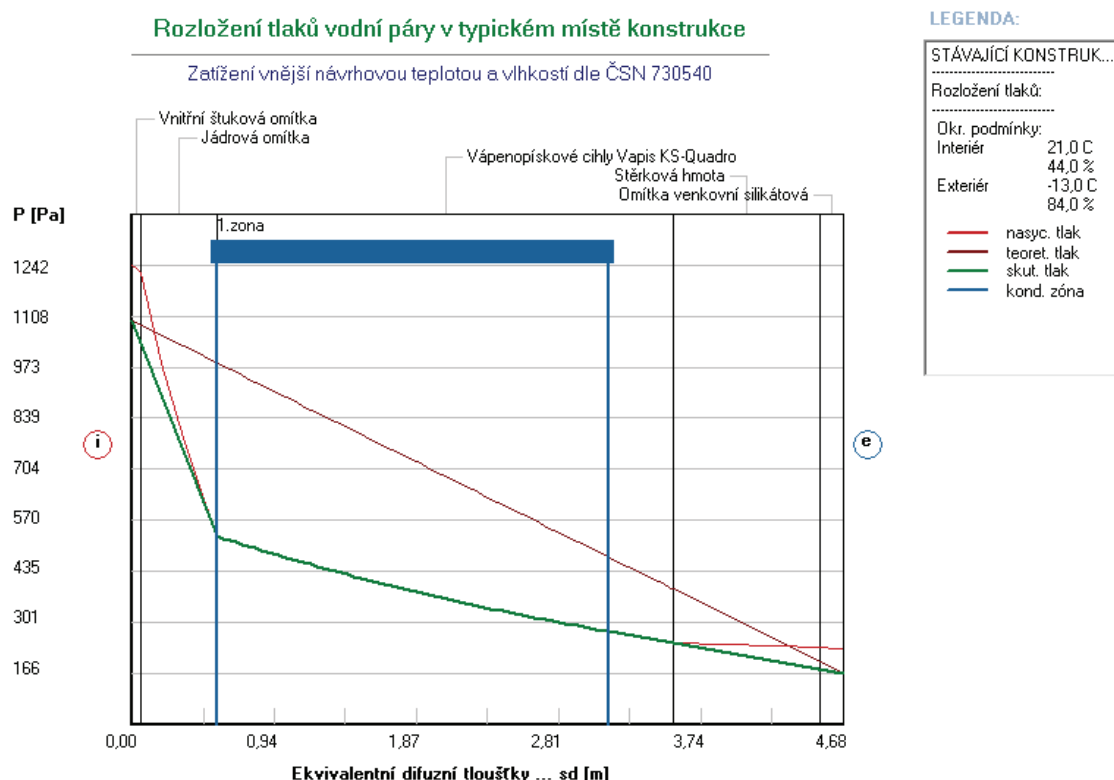
Šíření vlhkosti	Stávající konstrukce	Varianta č. 1	Varianta č. 2	Varianta č. 3	Varianta č. 4
Roční množství zkondenzované vodní páry $M_{c,a} [\text{kg/m}^2 \text{ rok}]$	0,5144	0,0505	0,1016	0,0120	0,0540
Roční množství odpařitelné vodní páry $M_{ev,a} [\text{kg/m}^2 \text{ rok}]$	5,3414	3,5810	1,9868	1,7939	3,5611
V konstrukci dochází ke kondenzaci	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
Vyhodnocení požadavku 2 $M_{c,a} < M_{ev,a}$	Splněno!	Splněno!	Splněno!	Splněno!	Splněno!
Vyhodnocení požadavku 3 $M_{c,a} < M_{c,N}$	Nesplněno!	Splněno!	Splněno!	Splněno!	Splněno!

Z vyhodnocení všech konstrukcí v programu TEPLO 2010 jsme zjistili, že všechny zateplené konstrukce požadavkům na šíření vlhkosti konstrukcí vyhovují, viz tabulka výše. Ke kondenzaci sice podle výpočtů a grafů v konstrukci dochází, ale vždy v povolených mezích. Výjimkou je stávající konstrukce bez zateplení u níž ke kondenzaci také dochází, roční množství kondenzátu je nižší než roční kapacita odparu, ale požadavek číslo 3 není splněn.

6.3.3 Grafické znázornění rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce

Grafické znázornění rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce u všech variant zateplení můžeme vidět níže.

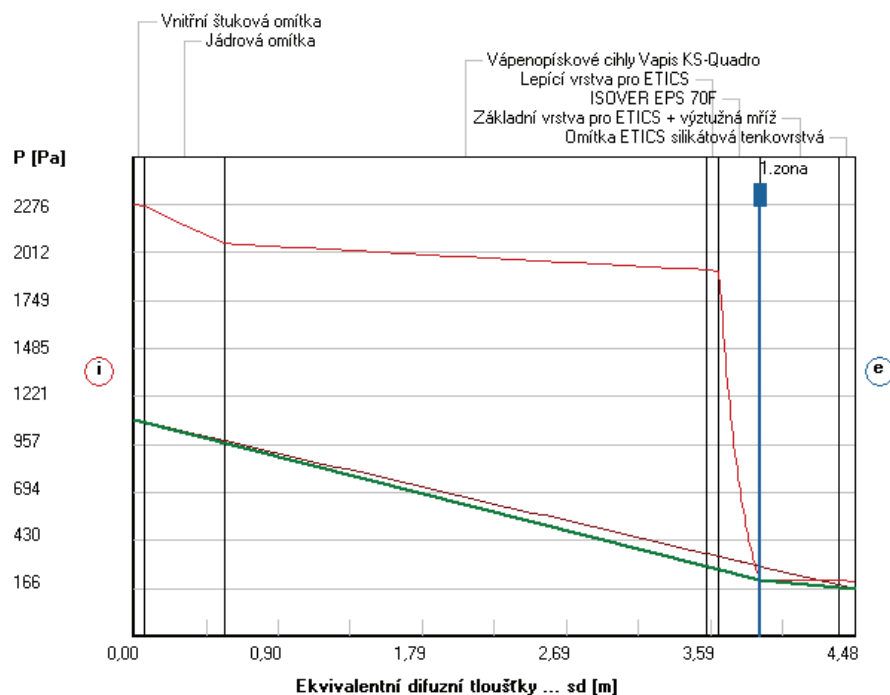
Program Teplo 2010 znázorňuje také rozložení a průběh teplot vždy v typickém místě konstrukce vzhledem k ekvivalentním difúzním tloušťkám jednotlivých vrstev. Tyto grafické výstupy pro všechny posuzované skladby jsou k nahlédnutí v příloze A.



Graf č. 4 – Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě stávající obvodové konstrukce

Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce

Zatížení vnější návrhovou teplotou a vlhkostí dle ČSN 730540



LEGENDA:

VARIANTA Č. 1 - KC...

Rozložení tlaků:

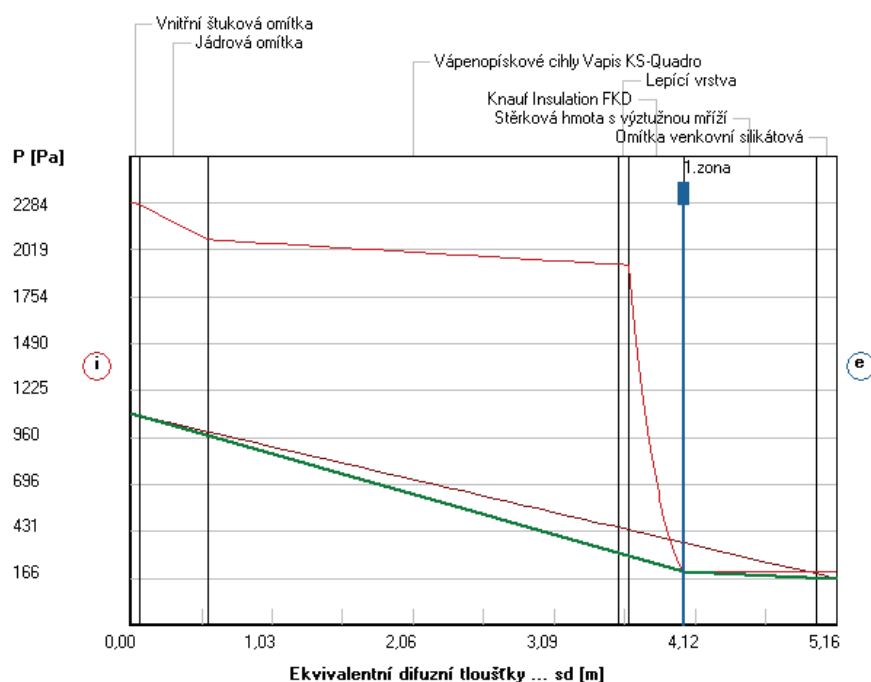
Okr. podmínky:

Interiér 21,0 C
44,0 %
Exteriér -13,0 C
84,0 %

Graf č. 5 – Rozložení tlaků vodní páry v zateplené konstrukci ve variantě č. 1

Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce

Zatížení vnější návrhovou teplotou a vlhkostí dle ČSN 730540



LEGENDA:

VARIANTA Č. 2 - KC...

Rozložení tlaků:

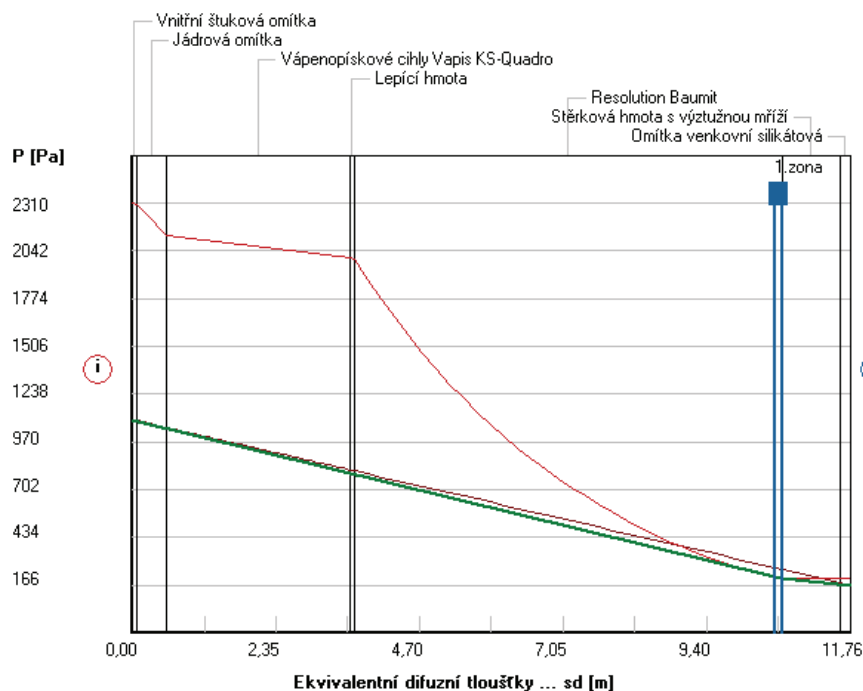
Okr. podmínky:

Interiér 21,0 C
44,0 %
Exteriér -13,0 C
84,0 %

Graf č. 6 – Rozložení tlaků vodní páry v zateplené konstrukci ve variantě č. 2

Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce

Zatížení vnější návrhovou teplotou a vlhkostí dle ČSN 730540



LEGENDA:

VARIANTA Č. 3 - KC...

Rozložení tlaků:

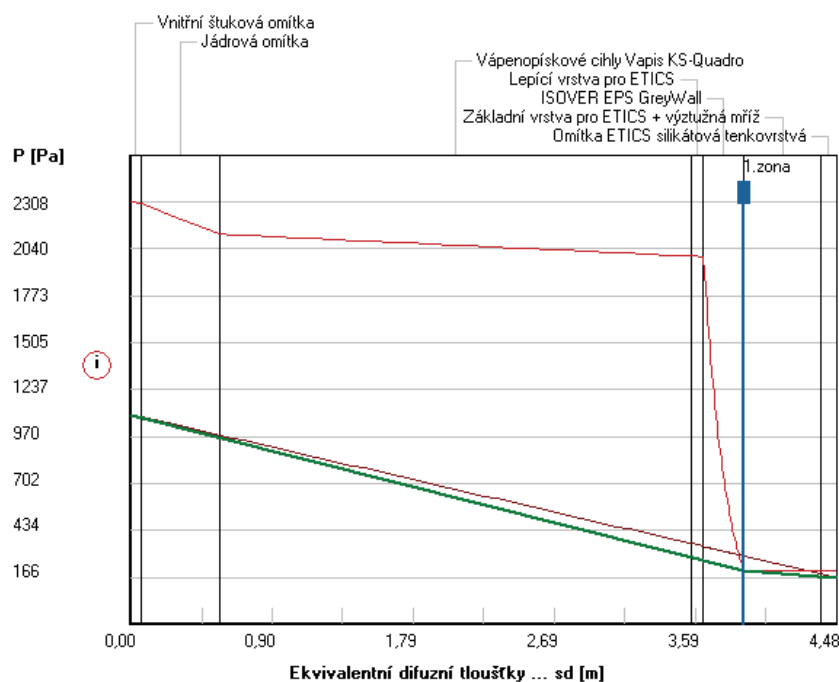
Okr. podmínky:
Interiér 21,0 C
44,0 %
Exteriér -13,0 C
84,0 %

— nasyc. tlak
— teoret. tlak
— skut. tlak
— kond. zóna

Graf č. 7 – Rozložení tlaků vodní páry v zateplené konstrukci ve variantě č. 3

Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce

Zatížení vnější návrhovou teplotou a vlhkostí dle ČSN 730540



LEGENDA:

VARIANTA Č. 4 - KC...

Rozložení tlaků:

Okr. podmínky:
Interiér 21,0 C
44,0 %
Exteriér -13,0 C
84,0 %

— nasyc. tlak
— teoret. tlak
— skut. tlak
— kond. zóna

Graf č. 8 – Rozložení tlaků vodní páry v zateplené konstrukci ve variantě č. 4

6.4 VÝPOČET NÁKLADŮ NA PROVOZOVÁNÍ BYTOVÉHO DOMU MODŘÍN

Pro výpočet nákladů na provozování posuzovaného bytového domu byl použit program Národního kalkulační nástroj NKN II.


„Národní kalkulační nástroj II slouží k hodnocení energetické náročnosti budov podle zákona 406/2000 Sb., ve znění pozdějších předpisů a vyhlášky č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti. NKN II je volně šiřitelný výpočetní nástroj určený k zpracování energetické bilance budov a stanovení dílčích dodaných energií na vytápění, chlazení, nucené větrání, přípravu teplé vody a osvětlení, který využívá okrajové podmínky výpočtu definované v TNI 730331 – Energetická náročnost budov – Typické hodnoty pro výpočet.“ [21]

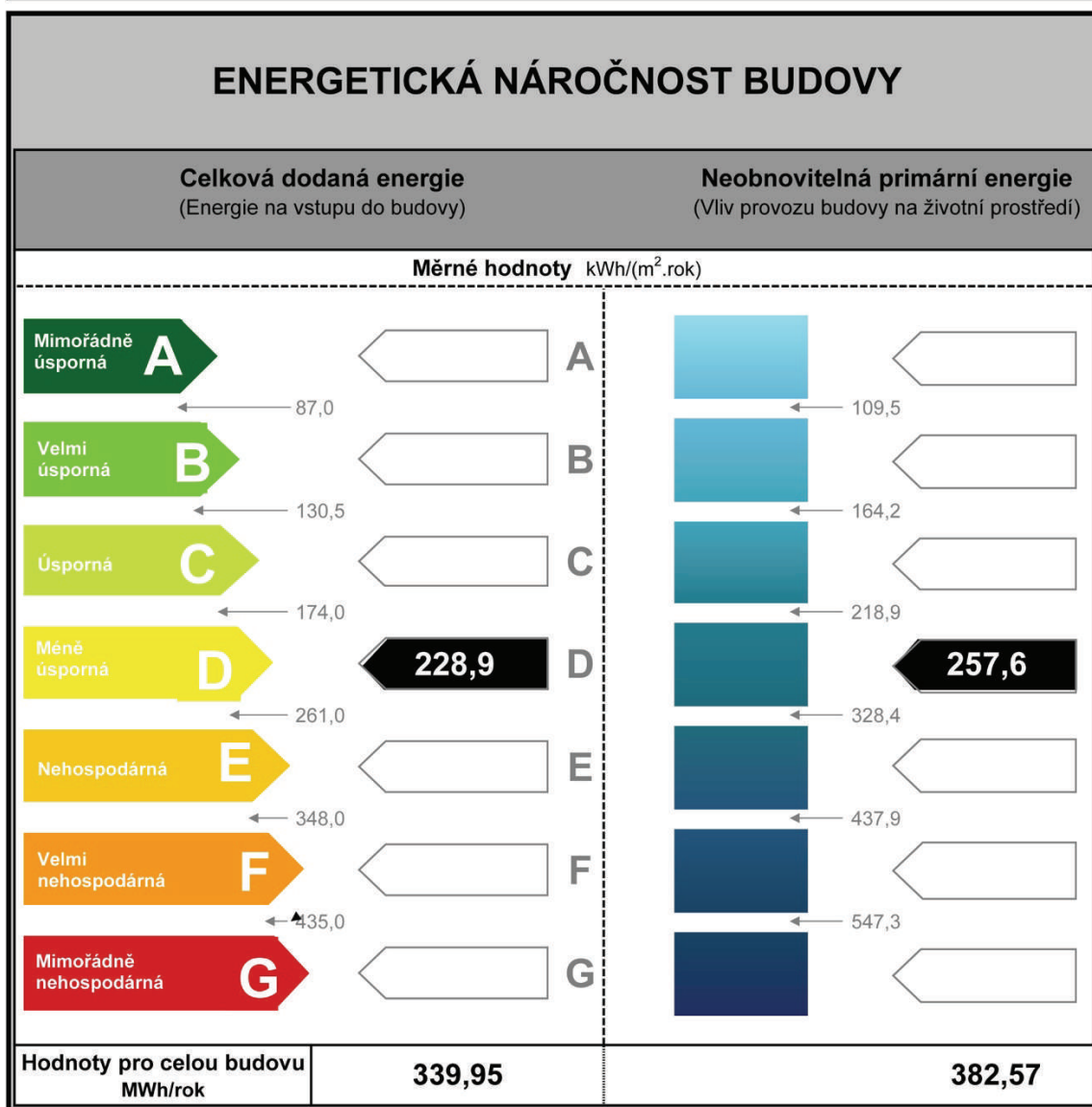
Do tohoto programu byly vloženy vstupní údaje jako jsou zdroje tepla, způsob přípravy TUV, vzduchotechnika, zdroje chladu, solární systémy, prostupy tepla konstrukcemi apod.. Jako zdroj tepla byl z poskytnutých podkladů zjištěn plynový kondenzační kotel fy. Geminox, výrobce Procom Bohemia, typ THRs 10-50C o tepelném výkonu 49,5 kW. Pro přípravu teplé užitkové vody slouží stejný kotel s akumulacím nepřímotopným zásobníkovým ohříváčem SF o objemu zásobníku 2000 l. Vzduchotechnika a solární systémy v tomto objektu řešeny nejsou.

Pro porovnání výsledků z programu NKN II jsem na ukázkou vybrala vyhodnocení stávající nezateplené konstrukce se zateplenou konstrukcí varianty č. 4 zateplení pomocí pěnového polystyrenu ISOVER EPS GreyWall, u které PENB vyšel společně s variantou č. 3 zateplení pomocí desek z fenolické pěny Resolution Baumit nejlépe. Hodnota spotřeby energie u nezatepleného objektu 228,9 kWh/(m²/rok) v případě zateplení variantou č. 4 a 3 klesla na 117,5 kWh/(m²/rok). Ve variantě č. 1 s použitím tepelné izolace ISOVER EPS 70F vyšla spotřeba energie 119,6 kWh/(m²/rok) a u varianty č. 2 zateplené tepelnou izolací z minerální vaty KNAUF Insulation FKD byl výsledek 118,9 kWh/(m²/rok).

Původně nezateplený dům byl zařazen do kategorie D méně úsporný objekt. U zateplených variant se objekt posunul do kategorie B velmi úsporný.

Výsledné průkazy energetické náročnosti budovy pro všechny varianty a analýzy energetických potřeb vyjádřených jak číselně, tak i graficky můžeme vidět v příloze B.

PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY			
vydaný podle zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, a vyhlášky č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov			
Ulice, číslo:	Ústí nad Labem		
PSČ, místo:			
Typ budovy:	Bytový dům		
Plocha obálky budovy:	2239	m ²	
Objemový faktor tvaru A/V:	0,39	m ² /m ³	
Celková energeticky vztažná plocha:	1485	m ²	



Obr. č. 31 – První strana PENB nezateplené obvodové konstrukce

DOPORUČENÁ OPATŘENÍ

Opatření pro	Stanovena	Popis opatření je v protokolu průkazu a vyhodnocení jejich dopadu ma energetickou náročnost je znázorněn šipkou Doporučení
Vnější stěny:	<input type="checkbox"/>	
Okna a dveře:	<input type="checkbox"/>	
Střechu:	<input type="checkbox"/>	
Podlahu:	<input type="checkbox"/>	
Vytápění:	<input type="checkbox"/>	
Chlazení/klimatizaci:	<input type="checkbox"/>	
Větrání:	<input type="checkbox"/>	
Přípravu teplé vody:	<input type="checkbox"/>	
Osvětlení:	<input type="checkbox"/>	
Jiné:	<input type="checkbox"/>	

PODÍL ENERGOONOSITELŮ NA DODANÉ ENERGII

Hodnoty pro celou budovu
MWh/rok

UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY

	Obálka budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava vlhkosti	Teplá voda	Osvětlení
	$U_{em} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$	Dílič dodaná energie			Měrné hodnoty kWh/(m ² ·rok)		
Mimořádně úsporná	A						2,5
	B						
	C					66,3	
	D						
	E	160,2					
	F	0,97					
Mimořádně neehospodárná	G						
Hodnoty pro celou budovu MWh/rok		237,8	0,0	0,0	0,0	98,4	3,7

Zpracovatel: nevyplněno
Kontakt: nevyplněno

Osvědčení č.: nevyplněno
Vyhotoveno dne: nevyplněno
Podpis:

Obr. č. 32 – Druhá strana PENB nezateplené obvodové konstrukce

PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY

vydaný podle zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, a vyhlášky č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov

Ulice, číslo: **Ústí nad Labem**

PSČ, místo:

Typ budovy: **Bytový dům**

Plocha obálky budovy: **2239** m²

Objemový faktor tvaru A/V: **0,39** m²/m³

Celková energeticky vztažná plocha: **1485** m²

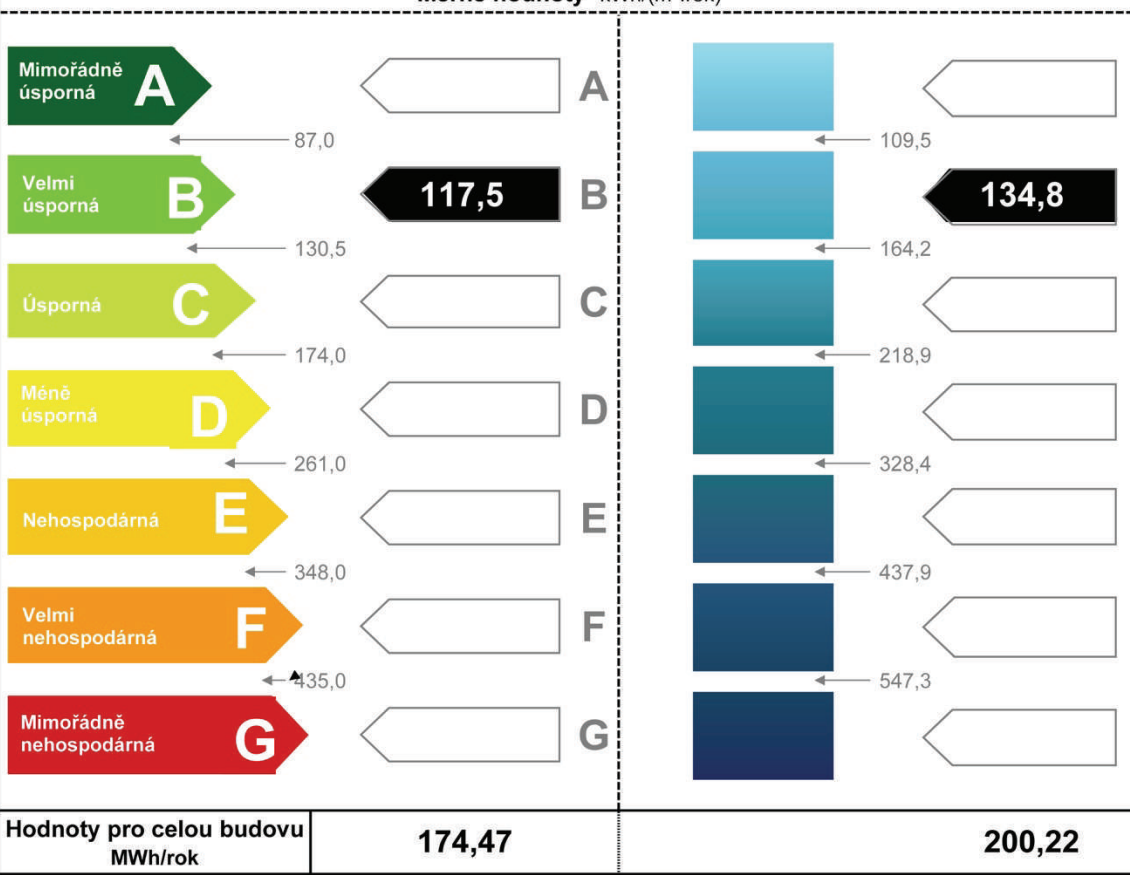


ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOVY

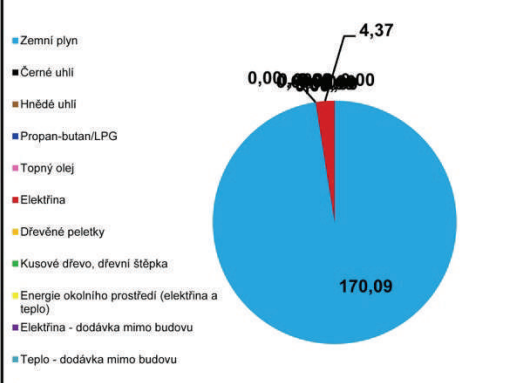
Celková dodaná energie
(Energie na vstupu do budovy)


















































Neobnovitelná primární energie
(Vliv provozu budovy na životní prostředí)

Měrné hodnoty kWh/(m².rok)



Obr. č. 33 – První strana PENB varianty č. 4 - zateplení pomocí ISOVER EPS GreyWall

DOPORUČENÁ OPATŘENÍ		PODÍL ENERGOONOSITELŮ NA DODANÉ ENERGII	
Opatření pro	Stanovena	Hodnoty pro celou budovu MWh/rok	
Vnější stěny:	<input type="checkbox"/>		
Okna a dveře:	<input type="checkbox"/>		
Střechu:	<input type="checkbox"/>		
Podlahu:	<input type="checkbox"/>		
Vytápění:	<input type="checkbox"/>		
Chlazení/klimatizaci:	<input type="checkbox"/>		
Větrání:	<input type="checkbox"/>		
Přípravu teplé vody:	<input type="checkbox"/>		
Osvětlení:	<input type="checkbox"/>		
Jiné:	<input type="checkbox"/>		
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">Doporučení</div>		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">Popis opatření je v protokolu průkazu a vyhodnocení jejich dopadu má energetickou náročnost je znázorněn šipkou</div>	

UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY							
	Obálka budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava vlhkosti	Teplá voda	Osvětlení
	U_{em} W/(m².K)	Dílčí dodaná energie				Měrné hodnoty kWh/(m².rok)	
							
Mimořádně úsporná	A						
	B						
	C						
	D						
	E						
	F						
	G						
Mimořádně neúsporná							
	Hodnoty pro celou budovu MWh/rok	72,3	0,0	0,0	0,0	98,4	3,7

Zpracovatel:	nevyplněno	Osvědčení č.:	nevyplněno
Kontakt:	nevyplněno	Vyhotoveno dne:	nevyplněno
		Podpis:	

Obr. č. 34 – Druhá strana PENB varianty č. 4 - zateplení pomocí ISOVER EPS GreyWall

Průkazy energetické náročnosti zbylých variant jsou k nahlédnutí v příloze B.

Analýza energetických potřeb dvou na ukázku vybraných variant

Příloha NKN - doplnění PENB																											
Hodnocení energetické náročnosti budov - analýza energetických potřeb																											
Budova:		Bytový dům Modřín - stávající konstrukce bez zateplení																									
Adresa:		Ústí nad Labem																									
Stavebník/Vlastník:		-																									
Základní geometrické údaje:																											
Energeticky vztáhná plocha		1 485,1		m ²																							
Celkový vnější objem budovy		5 779,8		m ³																							
Ochlazovaná plocha obálky budovy		2 239,2		m ²																							
Objemový faktor tvaru budovy A/V		0,39		m ² /m ³																							
A. Hodnocení ukazatelů energetické náročnosti podle vyhlášky 78/2013 Sb.																											
Budova je hodnocena jako:		Nová budova																									
Typ budovy:		Bytový dům																									
A.1. Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy																											
Hodnocená budova		U _{em}		(W/m ² .K)		Zóna 1		Zóna 2		Zóna 3		Zóna 4		Zóna 5		Zóna 6		Zóna 7		Zóna 8		Zóna 9		Zóna 10		Budova	
Referenční budova		U _{em,R}		(W/m ² .K)		0,97		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,97	
Ref budova - klasifikace		U _{em,R,klas}		(W/m ² .K)		0,42																				0,42	
Klasifikační ukazatel ER pro U _{em} :		2,33																									
Splnění požadavku ukazatele EN:		Ne, požadavek není splněn																									
Třída energetické náročnosti ukazatele EN:		F - Velmi neohospodárná																									
pozn. požadavek pro hranice tříd EN se stanovují v souladu s §9 vyhlášky 78/2013 Sb.																											
A.2. Celková dodaná energie do budovy																											
Hodnocená budova		Q _{dod}		kWh/rok		kWh/m ² .rok																					
Referenční budova		Q _{dod,R}		258419,2		174,0																					
Ref budova - klasifikace		Q _{dod,R,klas}		258419,2																							
Klasifikační ukazatel ER pro U _{em} :		1,32																									
Splnění požadavku ukazatele EN:		Ne, požadavek není splněn																									
Třída energetické náročnosti ukazatele EN:		D - Méně úsporná																									
pozn. požadavek pro hranice tříd EN se stanovují v souladu s §9 vyhlášky 78/2013 Sb.																											
A.3. Neobnovitelná primární energie																											
Hodnocená budova		EnP		kWh/rok		kWh/m ² .rok																					
Referenční budova		EnP _R		325129,8		218,9																					
Ref budova - klasifikace		EnP _{R,klas}		325129,8																							
Klasifikační ukazatel ER pro U _{em} :		1,18																									
Splnění požadavku ukazatele EN:		Ne, požadavek není splněn																									
Třída energetické náročnosti ukazatele EN:		D - Méně úsporná																									
pozn. požadavek pro hranice tříd EN se stanovují v souladu s §9 vyhlášky 78/2013 Sb.																											
B. Hodnocení doplňujících ukazatelů																											
B.1. Dílčí dodaná energie na vytápění																											
Hodnocená budova		E _H		kWh/rok		kWh/m ² .rok																					
Referenční budova		E _{H,R}		237834,3		160,2																					
Ref budova - klasifikace		E _{H,R,klas}		124671,8		84,0																					
Klasifikační ukazatel ER pro U _{em} :		1,91																									
Třída energetické náročnosti:		E - Neohospodárná																									
B.2. Dílčí dodaná energie na chlazení																											
Hodnocená budova		E _C		kWh/rok		kWh/m ² .rok																					
Referenční budova		E _{C,R}		0,0		0,0																					
Ref budova - klasifikace		E _{C,R,klas}		0,0		0,0																					
Klasifikační ukazatel ER pro U _{em} :		-																									
Třída energetické náročnosti:		Nehodnoceno																									
B.3. Dílčí dodaná energie na větrání																											
Hodnocená budova		E _V		kWh/rok		kWh/m ² .rok																					
Referenční budova		E _{V,R}		0,0		0,0																					
Ref budova - klasifikace		E _{V,R,klas}		0,0		0,0																					
Klasifikační ukazatel ER pro U _{em} :		-																									
Třída energetické náročnosti:		Nehodnoceno																									
B.4. Dílčí dodaná energie na přípravu teplé vody																											
Hodnocená budova		E _W		kWh/rok		kWh/m ² .rok																					
Referenční budova		E _{W,R}		98408,0		66,3																					
Ref budova - klasifikace		E _{W,R,klas}		112956,5		0,0																					
Klasifikační ukazatel ER pro U _{em} :		0,87																									
Třída energetické náročnosti:		C - úsporná																									
B.5. Dílčí dodaná energie na osvětlení																											
Hodnocená budova		E _L		kWh/rok		kWh/m ² .rok																					
Referenční budova		E _{L,R}		3712,7		2,5																					
Ref budova - klasifikace		E _{L,R,klas}		20790,8		14,0																					
Klasifikační ukazatel ER pro U _{em} :		0,18																									
Třída energetické náročnosti:		A - Mimořádně úsporná																									
Hodnocená budova																											
Rozdělení celkové dodané energie:																											
Referenční budova																											
Rozdělení celkové dodané energie:																											

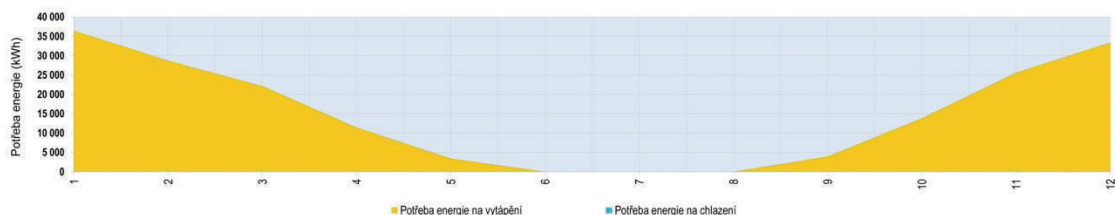
Obr. č. 35 – První strana analýzy energetických potřeb stávající konstrukce bez zateplení

C. Přehled potřeby energie a dodané energie do budovy

C.1. Energetická bilance na úrovni budovy podle ČSN EN 13790

	Parametr	jednotky	Hodnocená budova	Referenční budova
režim vytápění				
potřeba energie na vytápění	$Q_{t,nd}$	kWh/rok	178 700	67 546
solární tepelné zisky	$Q_{t,gn,sol}$	kWh/rok	95 607	68 290
vnitřní tepelné zisky	$Q_{t,gn,int}$	kWh/rok	29 356	44 712
celkové tepelné zisky	$Q_{t,gn}$	kWh/rok	124 963	113 002
celkové množství přeneseného tepla větráním	$Q_{t,v}$	kWh/rok	50 047	50 047
celkové množství přeneseného tepla prostupem	$Q_{t,tr}$	kWh/rok	219 524	94 029
režim chlazení				
potřeba energie na chlazení	$Q_{c,nd}$	kWh/rok	0	0
solární tepelné zisky	$Q_{c,gn,sol}$	kWh/rok	95 607	13 658
vnitřní tepelné zisky	$Q_{c,gn,int}$	kWh/rok	29 356	44 712
celkové tepelné zisky	$Q_{c,gn}$	kWh/rok	124 963	58 370
celkové množství přeneseného tepla větráním	$Q_{c,v}$	kWh/rok	58 738	58 738
celkové množství přeneseného tepla prostupem	$Q_{c,tr}$	kWh/rok	257 649	110 358
dičí parametry				
průměrný součinitel prostupu tepla	U_{em}	W/m ² ·K	0,97	0,42
Tepelná ztráta budovy				
	Q_C	kW	93,5	

Graf: Potřeba energie na vytápění a chlazení podle ČSN EN ISO 13790



		leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	CELKEM
Vytápění	kWh	36 413	28 680	22 110	11 395	3 379	0	0	0	3 916	13 804	25 599	33 405	178 700
Chlazení	kWh	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

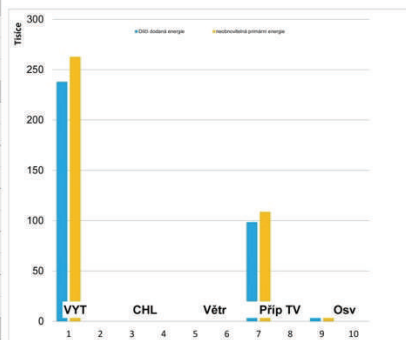
Poznámka:

Roční potřeba tepla na vytápění zahrnuje potřebu energie na vytápění bez vlivu energetických systémů budovy (např. systému vytápění, apod.), v případě nuceného větrání je uvažován pouze systém mechanického větrání. Vliv ostatních energetických systémů není v hodnotě výsledku potřeby tepla na vytápění zohledněn - jako je tomu u hodnocení energetické náročnosti budov podle vyhlášky MPO č. 78/2013 Sb. Výpočet probíhá na základě okrajových podmínek daných zvolenou klimatickou oblastí a okrajových podmínkách uvedených v profilu standardizovaného užívání pro danou zónu. Výpočet nete považovat ve shodě s okrajovými podmínkami uvedenými v TNI 73 0329 a TNI 73 0330. Výpočet je založen na okrajových podmínkách TNI 730331.

C.2. Energetická bilance na úrovni systémů podle požadavků vyhlášky 78/2013 Sb.

	Parametr	jednotky	Hodnocená budova	Referenční budova
Obecné - ukazatele energetické náročnosti				
Celková dodaná energie	Q_{dod}	kWh/rok	339 955	258 419
Neobnovitelná primární energie	EnP	kWh/rok	382 571	325 130
Celková primární energie	EP	kWh/rok	383 478	-
Dičí dodaná energie, neobnovitelná primární energie				
Dičí dodaná energie na vytápění	$E_{t,H}$	kWh/rok	237 834	124 672
Neobnovitelná primární energie na vytápění	$EnP_{t,H}$	kWh/rok	262 780	138 101
Dičí dodaná energie na chlazení	$E_{c,C}$	kWh/rok	0	0
Neobnovitelná primární energie na chlazení	$EnP_{c,C}$	kWh/rok	0	0
Dičí dodaná energie na větrání	$E_{v,V}$	kWh/rok	0	0
Neobnovitelná primární energie na větrání	$EnP_{v,V}$	kWh/rok	0	0
Dičí dodaná energie na přípravu teplé vody	$E_{w,W}$	kWh/rok	98 408	112 957
Neobnovitelná primární energie na přípravu TV	$EnP_{w,W}$	kWh/rok	108 653	124 657
Dičí dodaná energie na osvětlení	$E_{l,L}$	kWh/rok	3 713	20 791
Neobnovitelná primární energie na osvětlení	$EnP_{l,L}$	kWh/rok	11 138	62 373
Produkce energie				
Produkce energie solárním systémem	E_{sol}	kWh/rok	0	0
Produkce energie PV systémem	E_{PV}	kWh/rok	0	0
Vypočtená spotřeba energie				
Vypočtená spotřeba energie na vytápění	$Q_{t,H}$	kWh/rok	237 223	124 166
Vypočtená spotřeba energie na chlazení	$Q_{c,C}$	kWh/rok	0	0
Vypočtená spotřeba energie na větrání	$Q_{v,V}$	kWh/rok	0	0
Vypočtená spotřeba energie na přípravu TV	$Q_{w,W}$	kWh/rok	98 195	112 744
Vypočtená spotřeba energie na osvětlení	$E_{l,L}$	kWh/rok	3 713	20 791
Pomocná energie				
Pomocná energie pro vytápění	$W_{t,aux}$	kWh/rok	612	506
Pomocná energie pro chlazení	$W_{c,aux}$	kWh/rok	0	0
Pomocná energie pro větrání	$W_{v,aux}$	kWh/rok	0	0
Pomocná energie pro přípravu TV	$W_{w,aux}$	kWh/rok	213	213

Graf: Dičí dodaná energie, neobnovitelná primární energie pro hodnocenou budovu

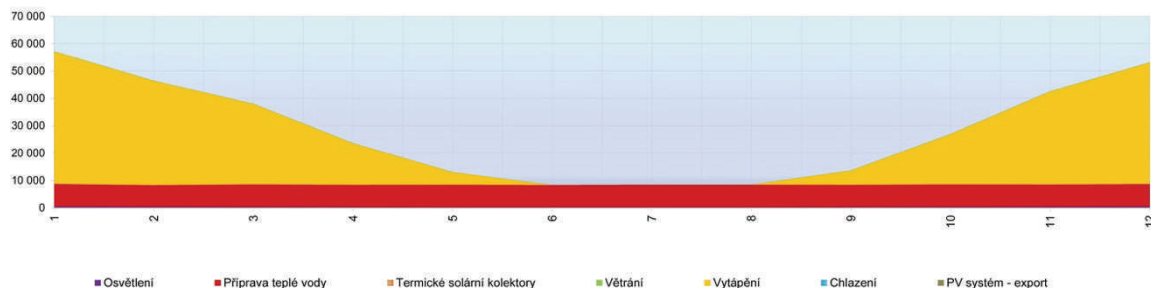


Obr. č. 36 – Druhá strana analýzy energetických potřeb stávající konstrukce bez zateplení

C.3 Hodnocená budova - Dílčí dodaná energie

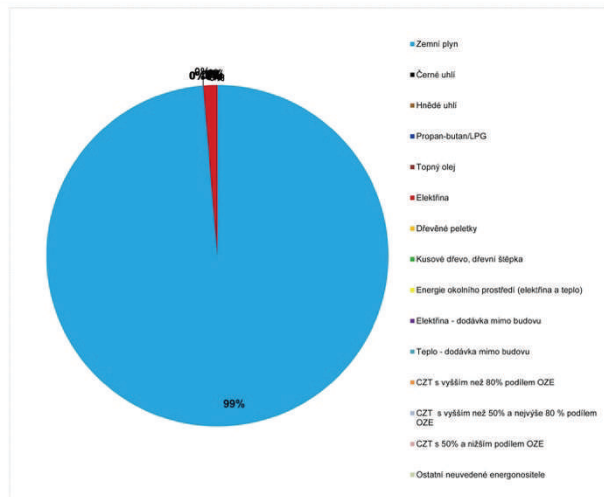
Dílčí dodaná energie	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	Celkem
Vytápění	48 410	38 137	29 423	15 197	4 554	0	0	0	5 246	18 397	34 053	44 417	237 834
Chlazení	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Větrání	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Příprava teplé vody	8 271	7 908	8 271	8 150	8 271	8 150	8 271	8 271	8 150	8 271	8 150	8 271	98 408
Osvětlení	470	387	322	263	217	201	201	217	269	319	384	464	3 713
Celkem	57 151	46 432	38 016	23 610	13 042	8 351	8 473	8 488	13 666	26 987	42 587	53 153	339 955
Započítatelná produkce energie:													
PV systém - export	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Termické solární kolektory	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Graf: Dílčí dodané energie podle požadavků vyhlášky 78/2013 Sb.



Hodnocená budova - celková dodaná energie rozdělení po energonositelích

Ergonositel	Dílčí dodaná energie
Zemní plyn	335 418 kWh/rok
Černé uhlí	0 kWh/rok
Hnědé uhlí	0 kWh/rok
Propan-butan/LPG	0 kWh/rok
Topný olej	0 kWh/rok
Elektřina	4 537 kWh/rok
Dřevěné peletky	0 kWh/rok
Kusové dřevo, dřevní štěpka	0 kWh/rok
Energie okolního prostředí (elektřina a teplo)	0 kWh/rok
Elektřina - dodávka mimo budovu	0 kWh/rok
Teplo - dodávka mimo budovu	0 kWh/rok
CZT s vyšším než 80% podílem OZE	0 kWh/rok
CZT s vyšším než 50% a nejvýše 80 % podílem OZE	0 kWh/rok
CZT s 50% a nižším podílem OZE	0 kWh/rok
Ostatní neuvedené energonositele	0 kWh/rok



Obr. č. 37 – Třetí strana analýzy energetických potřeb stávající konstrukce bez zateplení

Příloha NKN - doplnění PENB

Hodnocení energetické náročnosti budov - analýza energetických potřeb

Budova: Bytový dům Modřín - varianta č. 4 zateplení TI Isover EPS Grey Wall (pén. polystyren)

Adresa: Ústí nad Labem

Stavebník/Vlastník: -

Základní geometrické údaje:

Energeticky vztažná plocha	1 485,1	m ²
Celkový vnější objem budovy	5 779,8	m ³
Ochlazovaná plocha obálky budovy	2 239,2	m ²
Objemový faktor tvaru budovy A/V	0,39	m ² /m ³

A. Hodnocení ukazatelů energetické náročnosti podle vyhlášky 78/2013 Sb.

Budova je hodnocena jako: **Nová budova**

Typ budovy: **Bytový dům**

A.1. Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy

	Zóna	Zóna 1	Zóna 2	Zóna 3	Zóna 4	Zóna 5	Zóna 6	Zóna 7	Zóna 8	Zóna 9	Zóna 10	Budova
Hodnocená budova	U_{en} (W/m ² .K)	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34
Referenční budova	$U_{\text{en,R}}$ (W/m ² .K)	0,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42

Ref budova- klasifikace $U_{\text{en,R,klas}}$ (W/m².K) 0,42 **U_{en} porovnání:**

Klasifikační ukazatel ER pro Uem: **0,82**

Splnění požadavku ukazatele EN: **Ano, požadavek splněn**

Třída energetické náročnosti ukazatele EN: **C - úsporná**

pozn. požadavek pro hranice tříd EN se stanovují v souladu s §9 vyhlášky 78/2013 Sb.

A.2. Celková dodaná energie do budovy

	kWh/rok	kWh/m ² .rok
Hodnocená budova	Q_{dod} 174467,8	117,5
Referenční budova	$Q_{\text{dod,R}}$ 258419,2	174,0

Ref budova- klasifikace $Q_{\text{dod,R,klas}}$ 258419,2

Klasifikační ukazatel ER pro Uem: **0,68**

Splnění požadavku ukazatele EN: **Ano, požadavek splněn**

Třída energetické náročnosti ukazatele EN: **B - Velmi úsporná**

pozn. požadavek pro hranice tříd EN se stanovují v souladu s §9 vyhlášky 78/2013 Sb.

A.3. Neobnovitelná primární energie

	kWh/rok	kWh/m ² .rok
Hodnocená budova	EnP 200223,7	134,8
Referenční budova	EnP_R 325129,8	218,9

Ref budova- klasifikace $\text{EnP}_{R,klas}$ 325129,8

Klasifikační ukazatel ER pro Uem: **0,62**

Splnění požadavku ukazatele EN: **Ano, požadavek splněn**

Třída energetické náročnosti ukazatele EN: **B - Velmi úsporná**

pozn. požadavek pro hranice tříd EN se stanovují v souladu s §9 vyhlášky 78/2013 Sb.

B. Hodnocení doplňujících ukazatelů

B.1. Dílčí dodaná energie na vytápění

	kWh/rok	kWh/m ² .rok
Hodnocená budova	E_H 72347,1	48,7
Referenční budova	$E_{H,R}$ 124671,8	84,0

Ref budova- klasifikace $E_{H,R,klas}$ 124671,8

Klasifikační ukazatel ER pro Uem: **0,58**

Třída energetické náročnosti: **B - Velmi úsporná**

B.2. Dílčí dodaná energie na chlazení

	kWh/rok	kWh/m ² .rok
Hodnocená budova	E_C 0,0	0,0
Referenční budova	$E_{C,R}$ 0,0	0,0

Ref budova- klasifikace $E_{C,R,klas}$ 0,0

Klasifikační ukazatel ER pro Uem: **-**

Třída energetické náročnosti: **Nehodnoceno**

B.3. Dílčí dodaná energie na větrání

	kWh/rok	kWh/m ² .rok
Hodnocená budova	E_V 0,0	0,0
Referenční budova	$E_{V,R}$ 0,0	0,0

Ref budova- klasifikace $E_{V,R,klas}$ 0,0

Klasifikační ukazatel ER pro Uem: **-**

Třída energetické náročnosti: **Nehodnoceno**

B.4. Dílčí dodaná energie na přípravu teplé vody

	kWh/rok	kWh/m ² .rok
Hodnocená budova	E_W 98408,0	66,3
Referenční budova	$E_{W,R}$ 112956,5	0,0

Ref budova- klasifikace $E_{W,R,klas}$ 112956,5

Klasifikační ukazatel ER pro Uem: **0,87**

Třída energetické náročnosti: **C - úsporná**

B.5. Dílčí dodaná energie na osvětlení

	kWh/rok	kWh/m ² .rok
Hodnocená budova	E_L 3712,7	2,5
Referenční budova	$E_{L,R}$ 20790,8	14,0

Ref budova- klasifikace $E_{L,R,klas}$ 20790,8

Klasifikační ukazatel ER pro Uem: **0,18**

Třída energetické náročnosti: **A - Mimořádně úsporná**

Hodnocená budova

Rozdělení celkové dodané energie:

Referenční budova

Rozdělení celkové dodané energie:

Obr. č. 38 – První strana analýzy energetických potřeb varianty č. 4 - zateplení pomocí ISOVER EPS GreyWall

C. Přehled potřeby energie a dodané energie do budovy

C.1. Energetická bilance na úrovni budovy podle ČSN EN 13790

	Parametr	jednotky	Hodnocená budova	Referenční budova
režim vytápění				
potřeba energie na vytápění	$Q_{H,nd}$	kWh/rok	54 162	67 546
solární tepelné zisky	$Q_{H,gn,sol}$	kWh/rok	95 607	68 290
vnitřní tepelné zisky	$Q_{H,gn,int}$	kWh/rok	29 356	44 712
celkové tepelné zisky	$Q_{H,gn}$	kWh/rok	124 963	113 002
celkové množství přeneseného tepla větráním	$Q_{H,vr}$	kWh/rok	50 047	50 047
celkové množství přeneseného tepla prostupem	$Q_{H,tr}$	kWh/rok	77 258	94 029
režim chlazení				
potřeba energie na chlazení	$Q_{C,nd}$	kWh/rok	0	0
solární tepelné zisky	$Q_{C,gn,sol}$	kWh/rok	95 607	13 658
vnitřní tepelné zisky	$Q_{C,gn,int}$	kWh/rok	29 356	44 712
celkové tepelné zisky	$Q_{C,gn}$	kWh/rok	124 963	58 370
celkové množství přeneseného tepla větráním	$Q_{C,vr}$	kWh/rok	58 738	58 738
celkové množství přeneseného tepla prostupem	$Q_{C,tr}$	kWh/rok	90 676	110 358
dílčí parametry				
průměrný součinitel prostupu tepla	U_{ges}	W/m ² ·K	0,34	0,42
Tepelná ztráta budovy				
	Q_C	kW	44,2	

Graf: Potřeba energie na vytápění a chlazení podle ČSN EN ISO 13790



		leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	CELKEM
Vytápění	kWh	14 055	9 643	5 352	1 253	0	0	0	0	0	2 368	8 554	12 937	54 162
Chlazení	kWh	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

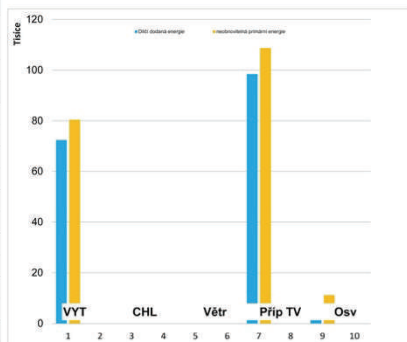
Poznámka:

Roční potřeba tepla na vytápění zahrnuje potřebu energie na vytápění bez vlivu energetických systémů budovy (např. systému vytápění, apod.), v případě nuceného větrání je uvažován pouze systém mechanického větrání. Vliv ostatních energetických systémů není v hodnotě výsledku potřeby tepla na vytápění zohledněn - jako je tomu u hodnocení energetické náročnosti budov podle vyhlášky MPO č. 78/2013 Sb. Výpočet probíhá na základě okrajových podmínek daných zvolenou klimatickou oblastí a okrajových podmínek uvedených v profilu standardizovaného užívání pro danou zónu. Výpočet nelze považovat ve shodě s okrajovými podmínkami uvedenými v TNI 73 0329 a TNI 73 0330. Výpočet je založen na okrajových podmínkách TNI 730331.

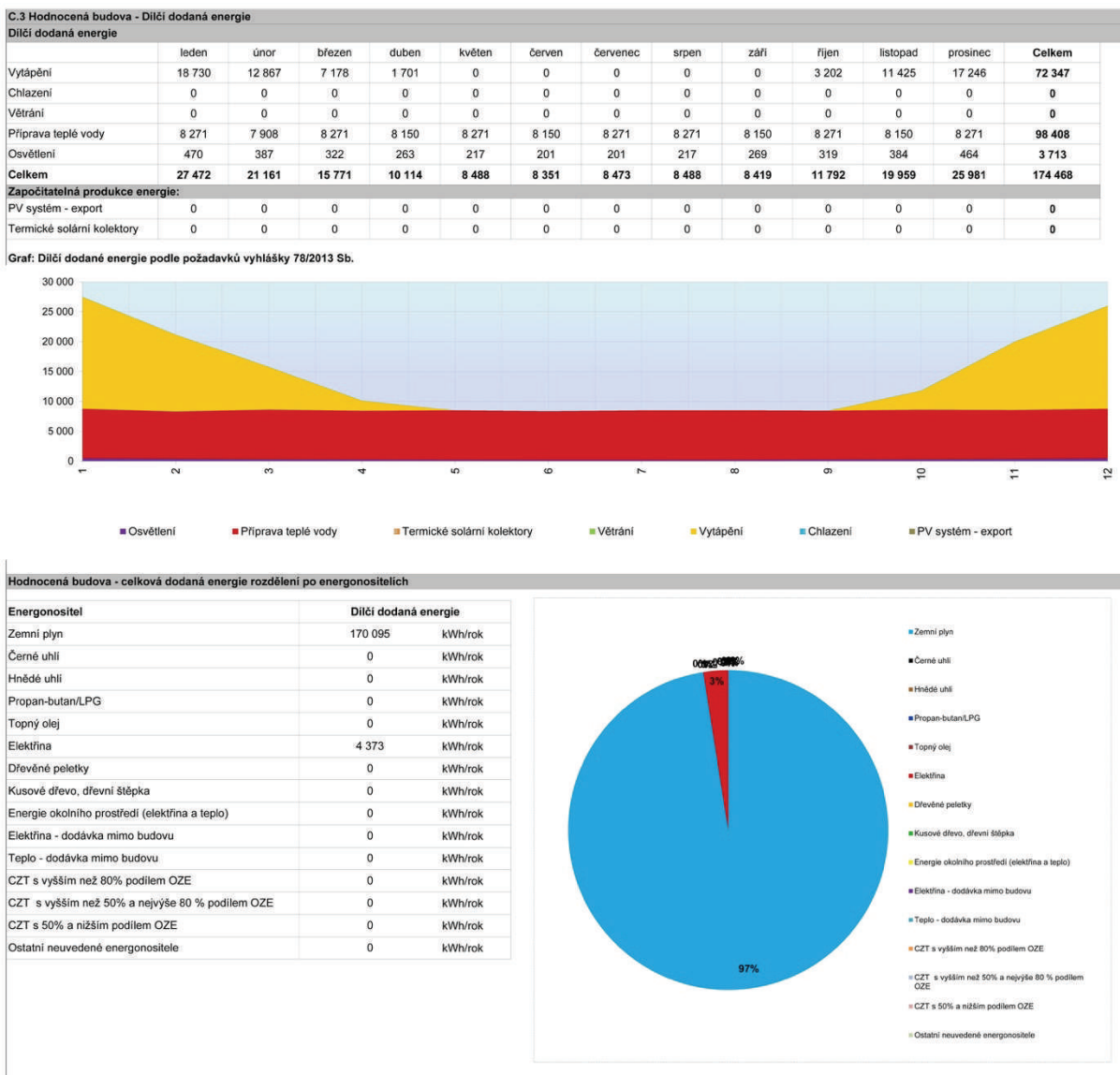
C.2. Energetická bilance na úrovni systémů podle požadavků vyhlášky 78/2013 Sb.

	Parametr	jednotky	Hodnocená budova	Referenční budova
Obecné - ukazatele energetické náročnosti				
Celková dodaná energie	Q_{del}	kWh/rok	174 468	258 419
Neobnovitelná primární energie	EnP	kWh/rok	200 224	325 130
Celková primární energie	EP	kWh/rok	201 098	-
Dílčí dodaná energie, neobnovitelná primární energie				
Dílčí dodaná energie na vytápění	E_H	kWh/rok	72 347	124 672
Neobnovitelná primární energie na vytápění	EnP_H	kWh/rok	80 433	138 101
Dílčí dodaná energie na chlazení	E_C	kWh/rok	0	0
Neobnovitelná primární energie na chlazení	EnP_C	kWh/rok	0	0
Dílčí dodaná energie na větrání	E_V	kWh/rok	0	0
Neobnovitelná primární energie na větrání	EnP_V	kWh/rok	0	0
Dílčí dodaná energie na přípravu teplé vody	E_{Hl}	kWh/rok	98 408	112 957
Neobnovitelná primární energie na přípravu TV	EnP_W	kWh/rok	108 653	124 657
Dílčí dodaná energie na osvětlení	E_L	kWh/rok	3 713	20 791
Neobnovitelná primární energie na osvětlení	EnP_L	kWh/rok	11 138	62 373
Produkce energie				
Produkce energie solárním systémem	E_{sol}	kWh/rok	0	0
Produkce energie PV systémem	E_{PV}	kWh/rok	0	0
Vypočtená spotřeba energie				
Vypočtená spotřeba energie na vytápění	Q_H	kWh/rok	71 899	124 166
Vypočtená spotřeba energie na chlazení	Q_C	kWh/rok	0	0
Vypočtená spotřeba energie na větrání	Q_V	kWh/rok	0	0
Vypočtená spotřeba energie na přípravu TV	Q_W	kWh/rok	98 195	112 744
Vypočtená spotřeba energie na osvětlení	E_L	kWh/rok	3 713	20 791
Pomocná energie				
Pomocná energie pro vytápění	$W_{H,aux}$	kWh/rok	448	506
Pomocná energie pro chlazení	$W_{C,aux}$	kWh/rok	0	0
Pomocná energie pro větrání	$W_{V,aux}$	kWh/rok	0	0
Pomocná energie pro Přípravu TV	$W_{W,aux}$	kWh/rok	213	213

Graf: Dílčí dodaná energie, neobnovitelná primární energie pro hodnocenou budovu



Obr. č. 39 – Druhá strana analýzy energetických potřeb varianty č. 4 - zateplení pomocí ISOVER EPS GreyWall



Obr. č. 40 – Třetí strana analýzy energetických potřeb varianty č. 4 - zateplení pomocí ISOVER EPS GreyWall

Grafické výstupy a analýzy energetických potřeb společně s kompletními protokoly PENB od všech variant zateplení jsou obsaženy v příloze B.

6.5 VÝPOČET NÁKLADŮ NA REALIZACI ZATEPLENÍ

Náklady na zateplení stávající konstrukce bytového domu byly vypočítány v oceňovacím programu BUILDpowerS.

„BUILDpowerS je ucelený stavební informační systém, který zajišťuje podporu při řízení stavebních zakázek. Obecně zastřešuje činnosti obchodu, oceňování nabídek, výrobní přípravy, realizace a controlling stavby. Systém pracuje propojeně ve dvou zdánlivě oddělených liniích, a to cen a nákladů. Na jedné straně je finanční controlling – od zpracování cenové nabídky přes soupisy prací až po fakturaci. Na straně druhé nákladový controlling od kalkulace zdrojů přes jejich plánování, zabudování a sledování spotřeby v čase. Metodika nastavení procesů je vždy s ohledem na hlavní business – realizaci stavební zakázky.“ [66]

Položkový rozpočet zateplení varianty 1.

Tab. č. 12 – Položkový rozpočet zateplení pěnovým polystyrenem ISOVER EPS 70F

Položkový rozpočet stavby			
Stavba:	1	Bytový dům Modřín	
Objekt:	1	Zateplení fasády	
Rozpočet:	1	Varianta č. 1 - Zateplení pěnovým polystyrenem Isover EPS 70F	
Objednatel:		IČO:	
		DIČ:	
Zhotovitel:		IČO:	
		DIČ:	
Vypracoval:		P. Nováková	
Rozpis ceny	Dodávka		Montáž
HSV	619 882,27		984 882,29
PSV	3 093,79		32 538,72
MON	0,00		0,00
Vedlejší náklady	0,00		0,00
Ostatní náklady	0,00		0,00
Celkem	622 976,06		1 017 421,01
		1 640 397,07	

Položkový rozpočet zateplení varianty 3.

Tab. č. 14 – Položkový rozpočet zateplení deskami z fenolické pěny Resolution Baumit

Položkový rozpočet stavby			
Stavba:	1	Bytový dům Modřín	
Objekt:	1	Zateplení fasády	
Rozpočet:	3	Varianta č. 3 - Zateplení deskami z fenolické pěny Resolution Baumit	
Objednatel:		IČO:	
		DIČ:	
Zhotovitel:		IČO:	
		DIČ:	
Vypracoval: P. Nováková			
Rozpis ceny	Dodávka		Montáž
HSV	1 852 193,86	922 403,25	2 774 597,11
PSV	3 093,79	32 538,72	35 632,51
MON	0,00	0,00	0,00
Vedlejší náklady	0,00	0,00	0,00
Ostatní náklady	0,00	0,00	0,00
Celkem	1 855 287,65	954 941,97	2 810 229,62
Rekapitulace daní			
Základ pro sníženou DPH	15 %	0,00 CZK	
Snížená DPH	15 %	0,00 CZK	
Základ pro základní DPH	15 %	2 810 229,62 CZK	
Základní DPH	15 %	421 534,00 CZK	
Zaokrouhlení		0,38 CZK	
Cena celkem s DPH		3 231 764,00 CZK	
v _____ dne 5.10.2016			
_____		_____	
Za zhotovitele		Za objednatele	

Rekapitulace dílů

Číslo	Název	Typ dílu	Dodávka	Montáž	Celkem	%
62	Úpravy povrchů vnější	HSV	1 834 357,31	756 877,87	2 591 235,18	92
94	Lešení a stavební výtahy	HSV	17 836,55	150 904,21	168 740,76	6
99	Staveništní přesun hmot	HSV	0,00	14 621,17	14 621,17	1
711	Izolace proti vodě	PSV	3 093,79	32 538,72	35 632,51	1
Cena celkem			1 855 287,65	954 941,97	2 810 229,62	100

Položkový rozpočet zateplení varianty 4.

Tab. č. 15 – Položkový rozpočet zateplení pěnovým polystyrenem ISOVER EPS GreyWall

Položkový rozpočet stavby			
Stavba:	1	Bytový dům Modřín	
Objekt:	1	Zateplení fasády	
Rozpočet:	4	Varianta č. 4 - Zateplení pěnovým polystyrenem Isover EPS Grey Wall	
Objednatel:		IČO:	
		DIČ:	
Zhotovitel:		IČO:	
		DIČ:	
Vypracoval: P. Nováková			
Rozpis ceny	Dodávka		Montáž
HSV	646 572,38	1 030 160,07	1 676 732,45
PSV	3 093,79	32 538,72	35 632,51
MON	0,00	0,00	0,00
Vedlejší náklady	0,00	0,00	0,00
Ostatní náklady	0,00	0,00	0,00
Celkem	649 666,17	1 062 698,79	1 712 364,96

Rekapitulace daní		
Základ pro sníženou DPH	15 %	0,00 CZK
Snížená DPH	15 %	0,00 CZK
Základ pro základní DPH	15 %	1 712 364,96 CZK
Základní DPH	15 %	256 855,00 CZK
Zaokrouhlení		0,04 CZK
Cena celkem s DPH		1 969 220,00 CZK
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-end; padding-top: 20px;"> <div style="text-align: center;"> v _____ _____ Za zhotovitele </div> <div style="text-align: center;"> dne 5.10.2016 _____ Za objednatele </div> </div>		

Rekapitulace dílů

Číslo	Název	Typ dílu	Dodávka	Montáž	Celkem	%
62	Úpravy povrchů vnější	HSV	628 735,83	866 386,87	1 495 122,70	87
94	Lešení a stavební výtahy	HSV	17 836,55	150 904,21	168 740,76	10
99	Staveništní přesun hmot	HSV	0,00	12 868,99	12 868,99	1
711	Izolace proti vodě	PSV	3 093,79	32 538,72	35 632,51	2
Cena celkem			649 666,17	1 062 698,79	1 712 364,96	100

Po srovnání celkových nákladů na zateplení všech variantami jsme zjistili, že první varianta s finančními náklady po přičtení DPH vycházející 1 886 457,00 Kč je se čtvrtou variantou, u které byly náklady vypočteny na 1 969 220,00 Kč poměrově zhruba stejně nákladná. Kdežto druhá varianta je oproti těmto dvěma zhruba o polovinu vyšší a její náklady byly vyčísleny na 2 760 407,00 Kč. Finančně nejnáročnější variantou se ukázala varianta č. tři. Náklady na ni byly vyčísleny na 3 231 764,00 Kč. Tento rozdíl je způsoben především odlišností použitého materiálu tepelné izolace. Samotný materiál pak tvoří nejdražší položku celého zateplení. Pro srovnání m² polystyrenu EPS Isover 70F bez montáže a povrchových úprav můžeme koupit od 303,5 Kč/m², oproti tomu desky z tuhé fenolické pěny Resolution Baumit se pohybují okolo 1448,2 Kč/m². Z finančního pohledu tedy můžeme tuto variantu č. tři zamítnout.

6.6 EKONOMICKÁ NÁVRATNOST INVESTIC S NAVRŽENÝMI DRUHY OBÁLEK

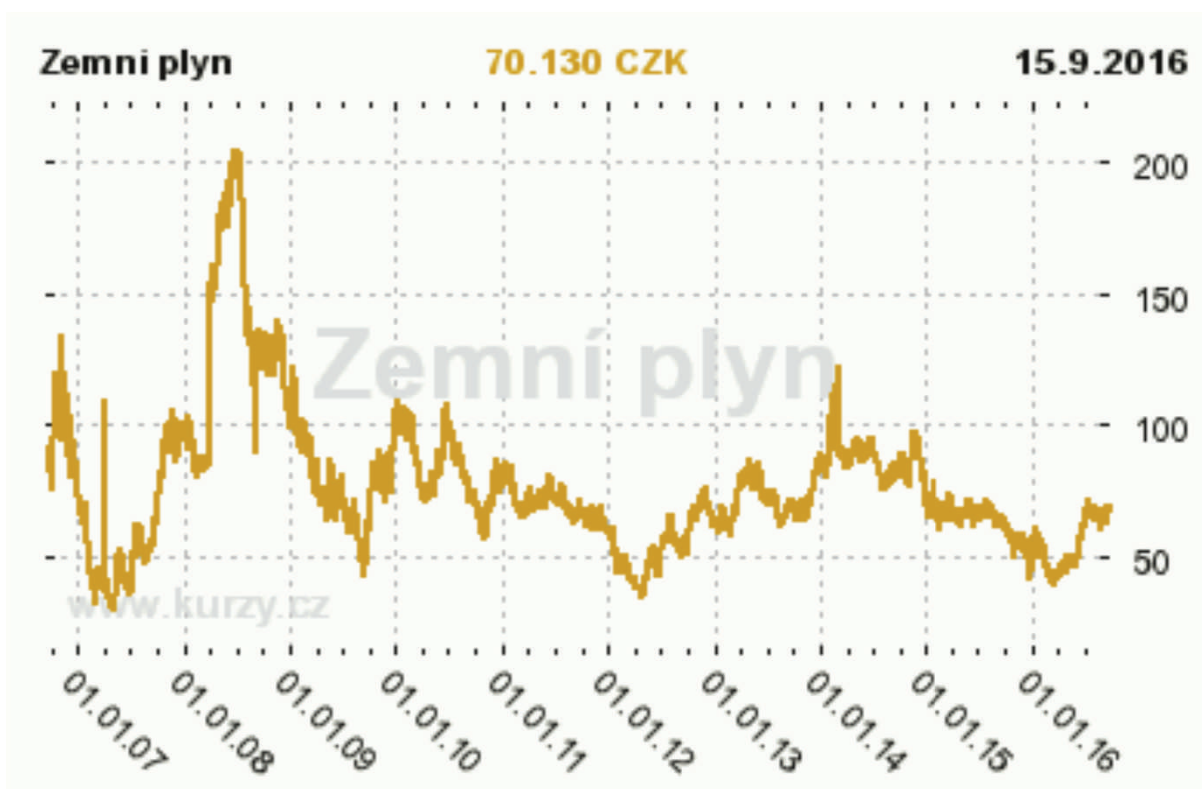
V této části se budeme věnovat ekonomické návratnosti investice. Podstatná je pro nás obvykle cena, kterou musíme průběžně platit za dodávku energie. Nejčastějším způsobem vedoucím ke snížení plateb za spotřebované energie především za vytápění je zateplení domu. Investorem do zateplení objektu je očekávána i návratnost investice po nějakém čase spojená s výnosy z investic.

Ekonomické zhodnocení jednotlivých variant bude provedeno na základě vyhlášky č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku. Jedná se o několik druhů návratnosti a to prostou dobu návratnosti, reálnou dobu návratnosti, čistou současnou hodnotu a vnitřní výnosové procento.

Pro naše účely postačí výpočet prosté doby návratnosti, která vyjadřuje dobu, za kterou se vytvoří takový zisk, (respektive v našem případě finanční úspory na energiích po zateplení bytového domu), aby pokryl finanční prostředky, které bylo nutno do projektu při jeho realizaci investovat. Oproti tomu reálná doba návratnosti je doba, při níž se ve výpočtu uvažuje i dopad diskontní sazby T_{sd} (úrokové míry, za kterou lze získat úvěr od banky) a dále předpokládaná průměrná míra inflace, protože peníze v průběhu let ztrácejí svou hodnotu. Čistá současná hodnota je pak hodnota, která vyjadřuje přírůstek zdrojů (finanční a energetické úspory) vyvolané investováním (zateplením obálky budovy) a lze ji zjistit jako rozdíl současné hodnoty a vloženého investičního nákladu. Vnitřní výnosové procento představuje výnosnost projektu za celé období hodnocení, vyjádřené procentuálně. Jedná se o čistou současnou hodnotu, která je rovna nule, tzn. výnos z projektu je roven investičním nákladům.

K zjištění prosté doby návratnosti je potřeba znát celkové roční náklady za spotřebovanou energii, které vypočítáme vynásobením celkové spotřeby energie zjištěné z vytvořeného PENB a cenou použité energie za 1 kWh. V tomto bytovém domě je zdrojem energie využívaným na vytápění a přípravu teplé užitkové vody zemní plyn a zdrojem energie pro osvětlení a domácí spotřebiče elektrický proud.

Nyní, když se již nepoužívá cena plynu na metr čtvereční, je velmi těžké odhadnout jeho cenu. Ta závisí zejména na vývoji cen ropy a kvalitě (výhřevnosti) dodávaného plynu. Dle stránek www.cenyenergie.cz se v dnešní době 1 kWh pohybuje zhruba na cenové hladině 1,46 Kč. Cena elektřiny byla do výpočtu stanovena 4,83 Kč za 1 kWh.



Obr. č. 41 – Grafický vývoj ceny plynu v časovém horizontu (cena v CZK za 1MMBtu) [67]

Celkový výpočet nákladů na energie viz tabulka č. 16 níže.

Tab. č. 16 - Tabulka výpočtu celkových nákladů na energie za rok.

Varianta zateplení	Spotřeba energií celkem [kWh/rok]	Druh energie	Spotřeba dle zdroje [kWh/rok]	Kč za 1 kWh energie	Celkem za energie [Kč]	Náklady celkem [Kč/rok]
Stávající k-ce	339 955	Plyn	335 418	1,46	489 710,28	511 624
		Elektřina	4 537	4,83	21 913,71	
Var. 1	177 652	Plyn	173 274	1,46	252 980,04	274 126
		Elektřina	4 378	4,83	21 145,74	
Var. 2	176 589	Plyn	172 212	1,46	251 429,52	272 566
		Elektřina	4 376	4,83	21 136,08	
Var. 3	174 468	Plyn	170 095	1,46	248 338,70	269 460
		Elektřina	4 373	4,83	21 121,59	
Var. 4	174 468	Plyn	170 095	1,46	248 338,70	269 460
		Elektřina	4 373	4,83	21 121,59	

Z tabulky je zřejmé, že se náklady na provoz budovy po zateplení snížily téměř na polovinu.

Prostá doba návratnosti a její výpočet

Doba návratnosti je doba, za kterou se investovaná částka do daného zateplení vrátí. Jedná se o důležitou hodnotu pro každého investora, aniž by řešil množství investovaných finančních prostředků.

V praxi je pro výpočet prosté doby návratnosti T_s nejčastěji používaný výpočet vydělení investovaných nákladů ročním peněžním tokem (v našem případě zateplení se jedná o úsporu energie).

$$T_s = IN / CF \quad [\text{roky}]$$

kde

IN ... investované náklady (investiční výdaje projektu) – náklady na zateplení [Kč]

CF ... roční přínosy projektu (cash flow – ročním peněžním tokem, změna peněžních toků po realizaci projektu) – úspora energie [Kč/rok]

Tab. č. 17 - Tabulka výpočtu úspory energie a doby návratnosti všech variant zateplení

Varianta zateplení	Náklady za energie celkem [Kč/rok]	Úspora energie [Kč/rok]	Náklady na zateplení [Kč]	Návratnost [rok]
Stávající k-ce	511 624	-	-	-
Var. 1	274 126	237 498	1 886 457	7,9
Var. 2	272 566	239 058	2 760 407	11,5
Var. 3	269 460	242 164	3 231 764	13,3
Var. 4	269 460	242 164	1 969 220	8,1

Tento výpočet prosté doby návratnosti je vyhotoven za předpokladu pevné ceny plynu. Ceny energií mají proměnnou tendenci, kterou můžeme předpokládat i v následujících letech. Proto, když bychom uvažovali, že se ceny energií budou do budoucna zvyšovat, došlo by k větší finanční úspoře a doba návratnosti investice by se zkrátila.

Životnost zateplovacích systémů

Životnost staveb se uvádí přibližně 100 let v závislosti na kvalitě provedení, zvolených stavebních materiálech a účelu užívání. Oproti tomu životnost tepelných izolací je menší. V ČR se uvádí životnost kontaktních zateplovacích systémů okolo 30 až 60 let. Pro ekonomické výpočty se používá zhruba 25 až 30 let.

Životnost zateplení ovlivníme při samotném návrhu, kdy nesmíme podcenit žádné detaily, v průběhu realizace, kdy je důležité dbát na její kvalitu a i během navazující průběžné údržby.

Z tohoto vyplývá, že vzhledem k zmíněné životnosti zateplovacích systémů a vypočítaných návratností navržených variant zateplení se zdá být nejvhodnějším řešením varianta č. 1 zateplení pomocí pěnového polystyrenu Isover EPS 70F, u které vyšla návratnost 7,9 let a varianta č. 4 zateplení pomocí pěnového polystyrenu Isover EPS GreyWall, který má v tomto případě návratnost 8,1 let. O něco hůře vyšla varianta č. 2 zateplení pomocí minerální vaty Knauf Insulatin s prostou dobou návratnosti 11,5 let, která se nám ale ještě stále vyplatí. Z pohledu ekonomické návratnosti investice nejhůře vyšla varianta č. 3 zateplení pomocí desek z tuhé fenolické pěny Resolution Baunit, kde je návratnost 13,3 let.

Všechny varianty se nám z hlediska životnosti tepelných izolací vyplatí, protože jejich ekonomická návratnost ji nepřesahuje. Došla jsem k závěru, že pro bytový dům Modřín se zateplení vyplatí a nejvhodnější je zateplení pomocí pěnového polystyrenu dle varianty č. 1, případně varianty č. 4. Kromě toho snížení energetické náročnosti bytového domu s sebou potažmo přináší také zlepšení životního prostředí díky jeho nižšímu zatížení emisemi z výroby energií.

7 ZÁVĚR

Cílem mé diplomové práce bylo zhodnocení ekonomické návratnosti investice jednotlivých navržených variant zateplení bytového domu v Lysé nad Labem, kterému předcházelo vyhodnocení rozdílů spotřeby energie na provozování bytového domu před a po provedení zateplení.

V teoretické části diplomové práce jsem se zabývala problematiku týkající se tohoto tématu. V první řadě jsem blíže specifikovala filozofii energeticky úsporných domů, rozložení spotřeby energie a obecné vyjádření energetické náročnosti budov. Dále jsem se věnovala současným požadavkům na nové budovy a legislativě související se zateplováním budov. Vzhledem k tomu, že úkolem práce bylo navrhnout několik variant možného zateplení obvodové konstrukce bytového domu, věnovala jsem se i tepelným izolacím jako takovým a výčtu možných tepelně-izolačních materiálů, které se na trhu nabízejí.

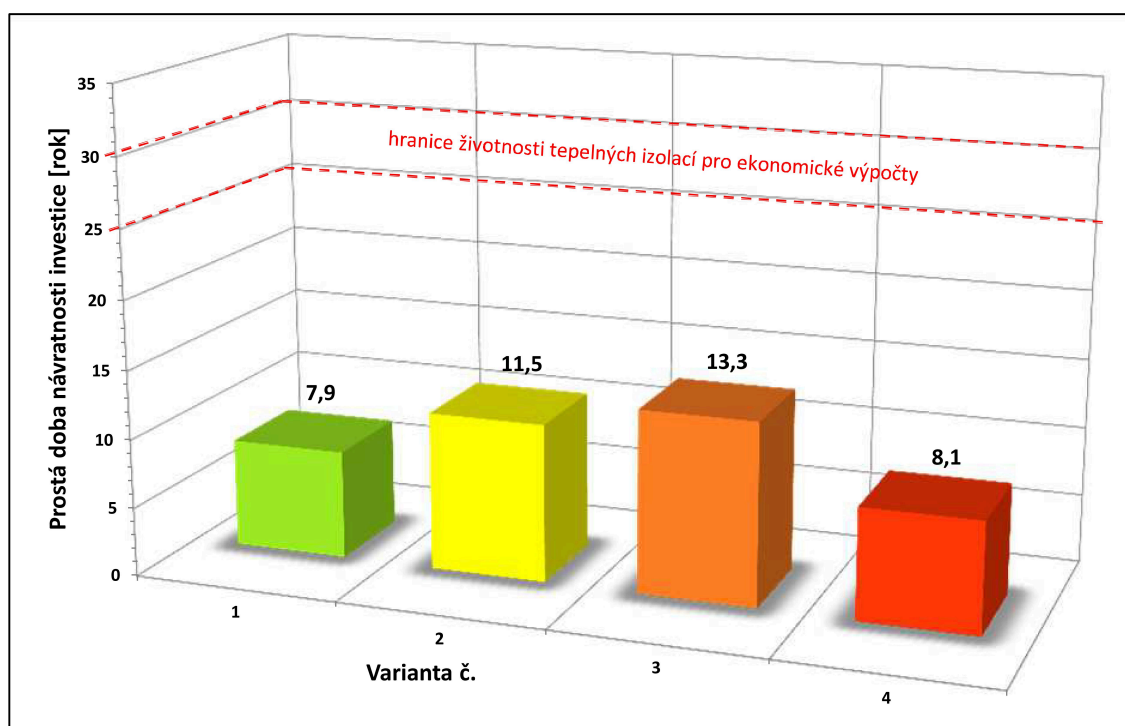
V úvodu praktické části jsem podrobně popsala řešený bytový dům Modřín od konstrukčního systému po materiálové řešení, jeho lokalitu umístění a současný stav stavby. Následně jsem navrhla čtyři možné skladby zateplení s odlišným izolačním materiálem. Použitou tepelnou izolaci v první variantě byl bílý pěnový polystyren Isover EPS 70F tloušťky 200 mm, ve druhé variantě pak minerální vata Knauf Insulation FKD tloušťky 200 mm. Ve variantě tři jsem jako tepelně-izolační materiál zvolila desky z tuhé fenolické pěny Resolution Baunit tloušťky 140 mm a ve variantě čtyři šedý pěnový polystyren Isover EPS Grey Wall tloušťky 200 mm.

Všechny navržené varianty zateplení byly posouzeny v programu Teplo 2010, kde byl vypočten součinitel prostupu tepla. V porovnání s požadavky danými normou na maximální $U = 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ nesplnila kritérium pouze stávající konstrukce bez zateplení s $U = 1,55 \text{ W/m}^2\text{K}$. Po zateplení se součinitelé prostupu tepla výrazně zlepšily a to u varianty č. 1 na $U = 0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$, varianty č. 2 na $U = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$, varianty č. 3 na $U = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$ a varianty č. 4 na $U = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$. Požadavek na šíření vlhkosti konstrukcí splnili všechny varianty se zateplením.

Dále jsem se zaměřila na roční spotřebu energie bytového domu Modřín u jednotlivých variant, kterou jsem získala z průkazu energetické náročnosti budov, vyhotoveného v programu NKN II. Stávající konstrukce se zařazením do kategorie D méně úsporný objekt se po přidání tepelné izolace posunula do kategorie B velmi úsporný objekt. Hodnota spotřeby energie u nezatepleného objektu $228,9 \text{ kWh/(m}^2\text{/rok)}$ v případě varianty č. 4 zateplení pomocí

pěnového polystyrenu Isover EPS Grey Wall a varianty č. 3 zateplení pomocí desek z tuhé fenolické pěny Resolution Baumit klesla na 117,5 kWh/(m²/rok). Ve variantě č. 1 s použitím tepelné izolace ISOVER EPS 70F vyšla spotřeba energie 119,6 kWh/(m²/rok) a u varianty č. 2 zateplené tepelnou izolací z minerální vaty KNAUF Insulation FKD byl výsledek 118,9 kWh/(m²/rok).

Následující část byla věnována rozpočtu nákladů na zateplení stávající konstrukce. K tomuto účelu jsem zvolila program Build PowerS. Z položkových rozpočtů je na první pohled zřejmé, že varianta č. tři je se svou cenou 3 231 764,00 Kč včetně DPH finančně nejnáročnější. Tento výrazný rozdíl je způsoben především odlišností použitého materiálu tepelné izolace. Samotný materiál pak tvoří nejdražší položku celého zateplení. Pro srovnání m² polystyrenu EPS Isover 70F bez montáže a povrchových úprav můžeme koupit od 303,5 Kč/m², oproti tomu desky z tuhé fenolické pěny Resolution Baumit se pohybují okolo 1448,2 Kč/m². Z finančního pohledu tedy můžeme tuto variantu č. tři zamítnout. Zbylé tři alternativy vyšly přijatelněji a to konkrétně varianta č. jedna 1 886 457,00 Kč včetně DPH, varianta č. dva 2 760 407,00 Kč včetně DPH, varianta č. čtyři 1 969 220,00 Kč včetně DPH.



Graf č. 9 – Ekonomická návratnost navržených variant zateplení s vyznačenou životností tepelných izolací pro ekonomické výpočty

V závěru praktické části byla vypočtena prostá doba návratnosti všech variant zateplení (viz graf č. 9). První varianta dosáhla návratnosti již za 7,9 let, druhá varianta za 11,5 let, třetí varianta za 13,3 let a čtvrtá varianta za 8,1 let. Pokud vezmeme v potaz, že životnost tepelných izolací je 30 až 60 let podle typu zvoleného materiálu, vyplatí se nám z ekonomického pohledu všechny varianty. Tento výpočet prosté doby návratnosti je vyhotoven za předpokladu pevné ceny plynu. Ceny energií mají proměnnou tendenci, kterou můžeme předpokládat i v následujících letech. Proto, když bychom uvažovali, že se ceny energií budou do budoucna zvyšovat, došlo by k větší finanční úspoře a doba návratnosti investice by se zkrátila. Ovšem kdybychom počítali např. reálnou dobu návratnosti, při níž se ve výpočtu uvažuje i s dopadem diskontní sazby (úrokové míry, za kterou lze získat úvěr od banky na jeho splácení) a dále s předpokládanou průměrnou mírou inflace, doba návratnosti by se mohla naopak prodloužit. Lze předpokládat, že reálná hodnota doby návratnosti úvěru bude delší, než prostá doba návratnosti, ale ne tak významně, že by nebylo výhodné zateplení bytového domu realizovat.

Nejvhodnějším řešením se zdá z pohledu ekonomické návratnosti investice být tedy varianta č. 1 zateplení pomocí pěnového polystyrenu Isover EPS 70F a varianta č. 4 zateplení pomocí pěnového polystyrenu Isover EPS GreyWall. Díky zateplení objektu nezískáme pouze energetické úspory za vytápění objektu, nebo jeho vyšší finanční hodnotu, ale přispějeme i k tak důležité ochraně životního prostředí, omezení nárůstu skleníkových plynů a jiných negativních jevů zapříčiněných emisemi z výroby energií (těžba a spotřeba uhlí, ropy, zemního plynu atd.).

Závěrem lze tedy říci, že vybrané varianty zateplení bytového domu Modřín se projeví ve všech směrech pozitivně a lze je jednoznačně doporučit.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] LINHART, Ladislav. *Zateplování budov*. Praha: Grada, 2010. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-3361-6.
- [2] Kjótský protokol k Rámcové úmluvě OSN o změně klimatu. www.mzp.cz [online]. [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: http://www.mzp.cz/cz/kjotsky_protokol
- [3] Úmluva o dálkovém znečišťování ovzduší přesahujícím hranice států. [Http://www.mzp.cz](http://www.mzp.cz) [online]. [cit.2016-01-10]. Dostupné z: http://www.mzp.cz/cz/umluva_o_dalkovem_znecistovani_ovzdusi_hranice
- [4] *Pasivní domy: principy, projekty, realizace, mýty*. Častolovice: Saint-Gobain Isover CZ, 2010, 170 s.: il. ISBN 978-80-254-8508-8
- [5] *Energetické hodnocení budov*. RUBINOVÁ, PH.D, Ing. Olga. www.mpo-efekt.cz [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: www.mpo-efekt.cz/upload/./4582_sfvut_brno_energeticke-hodnoceni-budov.pdf
- [6] Průměrná míra inflace. www.parlamentnilisty.cz [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://www.parlamentnilisty.cz/zpravy/tiskovezpravy/CSU-Prumerna-mira-inflace-vroce-2015-byla-0-3-procenta-416799>
- [7] Nízkoenergetické domy. www.tzb-info.cz [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/nizkoenergeticke-domy>
- [8] Normové hodnoty součinitele prostupu tepla. [www.stavba.tzb-info.cz](http://stavba.tzb-info.cz) [online]. [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/136-normove-hodnoty-soucinitele-prostupu-tepla-un-20-jednotlivych-konstrukci-dle-csn-73-0540-2-2011-tepelna-ochrana-budov-cast-2-pozadavky>
- [9] PREGIZER, Dieter. *Zásady pro stavbu pasivního domu*. Praha: Grada, 2009, 126 s.: il. (převážně barev.), plány; 25 cm. ISBN 978-80-247-2431-7.
- [10] Kompletní řešení pro stavební fyziku - SVOBODA SOFTWARE: Teplo 2015. <http://kcad.cz/cz/uvod/> [online]. [cit. 2016-08-26]. Dostupné z: <http://kcad.cz/cz/stavebni-fyzika/tepelna-technika/teplo/>
- [11] POLYSTYREN. [www.izolace-info](http://www.izolace-info.cz) [online]. [cit. 2015-02-20]. Dostupné z: <http://www.izolace-info.cz/katalog/polystyren/>

- [12] POČINKOVÁ, M., ČUPROVÁ, D. et al. *Úsporný dům*. 1. vyd. Brno : ERA, 2004. 183 s. ISBN 80-86517-96-9.
- [13] ŠÁLA, Jiří. *Tepelná ochrana budov: komentář k ČSN 73 0540*. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2008, 290 s. 25 cm. ISBN 978-80-87093-30-6.
- [14] *Informační listy Centra pasivního domu: Základní principy*. www.pasivnidomy.cz [online]. [cit.2016-02-12]. Dostupné z: http://www.pasivnidomy.cz/co-je-pasivnidum/t2?utm_source=google-grants&utm_medium=ppc&utm_campaign=pasivnidomy-obec
- [15] Od letošního roku se staví minimálně nízkoenergetické domy. POJAR, Petr. www.ceskestavby.cz [online]. [cit. 2015-02-11]. Dostupné z: <http://www.ceskestavby.cz/clanky/od-letosniho-roku-se-stavi-minimalne-nizkoenergeticke-domy-20754.html>
- [16] STEMPEL, Ulrich E. *Zateplení a rekonstrukce rodinného domu*. Praha: Grada, 2014, 157 s.: barev. il., plány; 24 cm. ISBN 978-80-247-4808-5.
- [17] ČSN EN 15 665 – změna Z1 – požadavky na větrání budov
- [18] PREGIZER, D. *Zásady pro stavbu pasivního domu*. Praha: Grada, 2009. 128 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-2431-7.
- [19] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další*. Praha: Grada, 2012, 195 s.: il., plány;. ISBN 978-80-247-3832-1.
- [20] Dům blízký energeticky nulovému a dům energeticky nulový. POČINKOVÁ, Marcela. www.unium.cz [online]. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z: <http://www.unium.cz/materialy/vut/fast/oze-prednasky-cvika-m36136-p1.html>
- [21] HODNOCENÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOV - ENB: NÁRODNÍ KALKULAČNÍ NÁSTROJ – NKN II. <http://nkn.fsv.cvut.cz/> [online]. [cit. 2016-08-26]. Dostupné z: <http://nkn.fsv.cvut.cz/>
- [22] Zákony ČR o nulových domech. www.nulovedomy.cz [online]. 2012 [cit. 2015-03-25]. Dostupné z: <http://www.nulovedomy.org/co-stanovuji-zakony/zakony-cr-o-nulovych-domech.htm>
- [23] Aktivní domy. www.pasivni-domy-pasea.cz [online]. [cit. 2016-02-13]. Dostupné z: <http://www.pasivni-domy-pasea.cz/aktivni-domy>

- [24] ICS 91.060.01; 91.120.10. ČSN EN ISO 6946 Stavební prvky a stavební konstrukce: Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtová metoda. Prosinec 2008. Praha: © Český normalizační institut, 2008.
- [25] Vyhláška č. 193/2007 Sb., stanovení účinnosti užití energie při rozvodu tepelné energie
- [26] Co je tepelná ztráta objektu a výpočet potřeby tepla na vytápění. *www.revitalizace.com* [online]. [cit. 2015-06-16]. Dostupné z: <http://www.revitalizace.com/teorie-vypocty/co-je-tepelna-ztrata-objektu-a-vypocet-potreby-tepla-na-vytapeni/>
- [27] Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích. ŠUBRT, Roman. *www.tzb-info.cz* [online]. 2012 [cit. 2014-03-13]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2526-tepelne-mosty-ve-stavebnich-konstrukcich>
- [28] Stavarina.cz. *www.stavarina.cz* [online]. [cit. 2015-07-27]. Dostupné z: <http://www.stavarina.cz/images/poruchy/Plisne/4roh.jpg>
- [29] Hobby.cz. <http://hobby.idnes.cz/> [online]. [cit. 2015-07-27]. Dostupné z: http://hobby.idnes.cz/foto.aspx?r=hobby-domov&foto1=BMA30daa8_shutterstock_45229249.jpg
- [30] GARDEN Moravia Termografické měření termovize - tepelný most. *www.gardenmoravia.cz* [online]. [cit. 2014-04-17]. Dostupné z: <http://gardenmoravia.cz/termovize-tepelny-most/>
- [31] Odhalení tepelný mostů. *www.vaseenergie.cz* [online]. [cit. 2015-07-27]. Dostupné z: <http://www.vaseenergie.cz/wp-content/uploads/2014/10/most1.png>
- [32] Požadované hodnoty měrné potřeby tepla při vytápění budov. *www.izolace-info.cz* [online]. [cit. 2015-07-28]. Dostupné z: http://www.izolace-info.cz/aktuality/?nid=8938-jak-se-hodnoti-potreba-tepla-na-vytapeni-u-staveb.html#.V8GAd_mLSU1
- [33] MATĚJKA, Libor. *Pozemní stavitelství III*. Brno: CERM, 2005.
- [34] ŠUBRT, Roman. *Zateplování*. Brno: ERA, 2008. Stavíme. ISBN 978-80-7366-138-0.
- [35] NOVÁK CSC., Doc. Ing. Jaroslav, kol. a . *Nauka o materiálech*. Praha: ČVUT, 1997.

- [36] ZACH, Jiří. *Tepelné izolace: Přednáška*. 2011. Vysoké učení technické v Brně Fakulta stavební, 2011. Střechy, fasády, izolace : odborný měsíčník
- [37] Centrum experimentální archeologie. *Cea.livinghistory.cz* [online]. [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: cea.livinghistory.cz
- [38] ČSN 73 0540. *Tepelná ochrana budov: požadavky*. Praha: UNMZ, 2011.
- [39] Zateplování fasády. *www.izolace-info.cz* [online]. 2014 [cit. 2015-09-05]. Dostupné z: http://www.izolace-info.cz/technicke-informace/zateplovani-fasady-1/?nid=10215-jak-zmensit-ucty-zaelektrinu-a-vyhnout-se-energeticke-chudobe.html#VOduW_mG-So
- [40] Důvody pro zateplení domu. *www.rebustav.cz* [online]. [cit. 2015-09-14]. Dostupné z: <http://www.rebustav.cz/duvody-pro-zatepleni-domu.htm>
- [41] Tepelná vodivost. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2011 [cit. 2015-12-18]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Tepeln%C3%A1_vodivost
- [42] TZB info. *www.tzb-info.cz* [online], [cit. 2016-03-26]. Dostupné z: <http://kalkulator.tzb-info.cz/cz/vyvojcelkovych-cen-elektriny?sazba=D25d>
- [43] VLČEK, Milan a Petr BENEŠ. *Zateplování staveb*. Brno: CERM, 2000. ISBN 80-720-4164-9.
- [44] Isover *www.isover.cz* [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.isover.cz/>
- [45] Informace o izolacích a zateplení. *www.izolace-info.cz* [online]. [cit. 2016-05-29]. Dostupné z: <http://www.izolace-info.cz/katalog/polystyren/extrudovany-polystyren/>
- [46] Extrudovaný polystyren. *www.dek.cz* [online]. [cit. 2016-05-29]. Dostupné z: <https://www.dek.cz/obrazky/1505099987.jpg>
- [47] Extrudovaný polystyren. *www.stavbaonline.cz* [online]. [cit. 2016-05-29]. Dostupné z: <http://www.stavbaonline.cz/austrotherm-xps-top-p-gk.html>
- [48] Informace o izolacích a zateplování. *www.izolace-info.cz* [online]. [cit. 2016-02-19]. Dostupné z: <http://www.izolace-info.cz/katalog/polyisokyanurat/>
- [49] Informace o izolacích a zateplování. *www.izolace-info.cz* [online]. [cit. 2016-02-19]. Dostupné z: <http://www.izolace-info.cz/katalog/polyuretan/>
- [50] Stříkaná PUR pěna. *www.ji-ba.cz* [online]. [cit. 2016-05-30]. Dostupné z: <http://www.ji-ba.cz/aplikace-izolace-pur-penou-na-svisle-plochy-strechy-a-jine>

- [51] *Energeticky úsporné domy.* www.postavme-dum.cz [online], 2016 [cit. 2016-05-26].
Dostupné z: <http://www.postavmedum.cz/energeticky-uspornе-domy>
- [52] Minerální izolace. www.tzb-info.cz [online]. [cit. 2016-06-07]. Dostupné z:
<http://stavba.tzbinfo.cz/tepelne-izolace/298-mineralni-izolace>
- [53] Kamenná vlna. <http://imaterialy.dumabyt.cz/> [online]. [cit. 2016-06-07]. Dostupné z:
http://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/informace-vyrobcu/kamenna-vlna-pomuze-snizit-energetickou-narocnost-budovy_43785.html
- [54] Minerální vata. <http://stavba-a-rekonstrukce.bydleniprokazdeho.cz/> [online]. [cit. 2016-06-07]. Dostupné z: <http://stavba-a-rekonstrukce.bydleniprokazdeho.cz/stavebni-material/mineralni-vata-a-dalsi-izolace-vlaknitych-materialu.php>
- [55] Pásy a desky z pěnového polyetyleny. www.spur.cz [online]. [cit. 2016-06-08].
Dostupné z:
<http://www.adresarobalare.cz/indexnew.php?lang=cz&pageid=4&nomid=1&idprod=969>
- [56] Možnosti izolací pro podlahy a podhledy. www.asb-portal.cz [online]. [cit. 2016-06-09]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/materialy-a-vyrobyky/tepelne-izolace/moznosti-izolacipro-podlahy-a-podhledy>
- [57] Izolace Climatizer Plus. <http://maveizol.cz/> [online]. [cit. 2016-06-09]. Dostupné z:
<http://maveizol.cz/5-nejcastejsich-otazek-o-foukane-izolaci-climatizer/>
- [58] *Dřevo&stavby.* www.drevoastavby.cz [online]. [cit. 2016-07-02]. Dostupné z:
<http://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba/izolace/2098-penosklo-ve-forme-drtije-idealnim-tepelnym-izolantem-pro-spodni-stavby>
- [59] Pěnosklo. www.pasivnidomy.cz [online]. [cit. 2016-06-12]. Dostupné z:
<http://www.pasivnidomy.cz/jak-na-efektivni-zakladani-pasivnich-domu/t4130>
- [60] Izolace z obnovitelných surovin. <http://stavba.tzb-info.cz/> [online]. [cit. 2016-06-15].
Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/301-izolace-z-obnovitelných-surovin-drevo-celuloza-konopi-ovci-vlna-slama>
- [61] Ovčí vlna jako izolace. www.nazeleno.cz [online]. [cit. 2016-06-21]. Dostupné z:
<http://www.nazeleno.cz/ovci-vlna-jako-izolace-zeleny-vymysl-nebo-uzitecne-reseni.aspx>

- [62] 10 důvodů proč zateplit dům. *www.zatepleni-fasad.eu* [online]. [cit. 2016-06-25]. Dostupné z: <http://www.zatepleni-fasad.eu/vse-o-zatepleni/10-duvodu-proc-zateplit-dum/>
- [63] Izolace. *www.drevoastavby.cz* [online]. [cit. 2016-07-02]. Dostupné z: <http://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/izolace/2238-perlit-je-darem-prirody>
- [64] Keramzit. *www.keramzit.cz* [online]. [cit. 2016-07-02]. Dostupné z: <http://www.keramzit.cz>
- [65] *Neprůvzdušnost: Zkoušky kvality* [online]. [cit. 2016-07-16]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/nepruvzdusnost-zkousky-kvality/t371?chapterId=1817>
- [66] RTS: BUILDpower S. http://www.rts.cz/buildpower_s.aspx [online]. [cit. 2016-08-26]. Dostupné z: http://www.rts.cz/buildpower_s.aspx
- [67] Aktuální a historické ceny zemního plynu. *www.kurzy.cz* [online]. [cit. 2016-09-15]. Dostupné z: <http://www.kurzy.cz/komodity/index.asp?A=5&idk=43&od=15.9.2006&do=15.9.2016&curr=CZK>
- [68] Aktivní domy. <http://www.nazeleno.cz/> [online]. [cit. 2016-09-15]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/stavba/pasivni-domy/aktivni-domy-neplatte-za-teplo-a-elektrinu.aspx>

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

VŠKP	vysokoškolská kvalifikační práce
DP	diplomová práce
CO ₂	oxid uhličitý
ČR	Česká republika
ČSN	česká státní norma
EPS	expandovaný polystyren
ETICS	External Thermal Insulation Composite System
IČ	identifikační číslo
NKN	Národní kalkulační nástroj
PENB	průkaz energetické náročnosti budov
ŽB	železobeton
PS	pěnový polystyren
PU	pěnový polyuretan
PUR	polyuretan
MW	minerální vata
THU	technicko-hospodářský ukazatel
A	plocha [m ²]
U	součinitel prostupu tepla
U _N	normový součinitel prostupu tepla
XPS	extrudovaný polystyren
ρ	objemová hmotnost vrstvy (konstrukce) [kg/m ³]
λ	návrhový součinitel tepelné vodivosti materiálu [W/(mK)]
λ _D	deklarovaný součinitel tepelné vodivosti materiálu [W/(mK)]
U	součinitel prostupu tepla [W/(m ² K)]

U_N	požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla [$W/(m^2K)$]
U_{em}	průměrný součinitel prostupu tepla [$W/(m^2K)$]
$U_{em, N}$	požadovaná hodnota průměrného součinitele prostupu tepla [$W/(m^2K)$]
U_e	výpočtová hodnota součinitele prostupu tepla - exteriér [$W/(m^2K)$]
U_i	výpočtová hodnota součinitele prostupu tepla - interiér [$W/(m^2K)$]
R_T	odpor konstrukce při prostupu tepla [$(m^2K)/W$]
R_{si}	odpor při přestupu tepla na vnitřní (interiérové) straně konstrukce [$(m^2K)/W$]
R_{se}	odpor při přestupu tepla na vnější (exteriérové) straně konstrukce [$(m^2K)/W$]
R_j	tepelný odpor při přestupu tepla j-té vrstvě konstrukce [$(m^2K)/W$]
f_{Rsi}	teplotní faktor vnitřního povrchu [-]
$f_{Rsi, N}$	požadovaná hodnota nejnižšího teplotní faktor vnitř. povrchu [-]
θ_{ai}	návrhová teplota vnitřního vzduchu [$^{\circ}C$]
θ_{si}	vnitřní povrchová teplota konstrukce [$^{\circ}C$]
$\theta_{si, min, N}$	pož. hodnota nejnižšího teploty odpovídající nejnižšímu dovolenému teplotnímu faktoru vnitřního povrchu [-]
θ_e	návrhová teplota venkovního vzduchu v zimním období [$^{\circ}C$]
θ_i	návrhová teplota vnitřního vzduchu v zimním období [$^{\circ}C$]
θ_{sik}	vnitřní povrchová teplota v koutě konstrukce [$^{\circ}C$]
$\Delta \theta_i$	teplotní přírážka [$^{\circ}C$]
ξ_{Rsi}	poměrný teplotní rozdíl vnitřního povrchu [-]
ξ_{Rsik}	poměrný teplotní rozdíl vnitřního povrchu konstrukcí v koutě [-]
ψ_g	lineární činitel prostupu tepla způsobený kombinovanými tepelnými vlivy zasklení, distančního rámečku a rámu [$W/(mK)$]
H_T	měrná ztráta prostupem tepla
Φ	tepelné ztráty [W]
φ_e	relativní vlhkost vzduchu – exteriér [%]

φ_i	relativní vlhkost vzduchu – interiér [%]
M_c	výpočtová hodnota zkondenzované vodní páry uvnitř kce [kg/(m ² a)]
$M_{c, N}$	požadovaná hodnota zkondenzované vodní páry uvnitř kce [kg/(m ² a)]
M_{ev}	roční množství vypařitelné vodní páry uvnitř konstrukce [kg/(m ² a)]
μ	faktor difuzního odporu [-]
m. j.	měrná jednotka
mm	milimetr, délková jednotka
m	metr, délková jednotka
m ²	metr čtvereční, plošná jednotka
m ³	metr krychlový, plošná jednotka
kg	kilogram, hmotnostní jednotka
MPa	megapascal, jednotka tlaku
N	Newton, jednotka síly
kN	kilonewton, jednotka síly
°	stupně
%	procenta
vyhl.	vyhláška
z.	zákon
T_s	prostá doba návratnosti [roky]

10 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

- Obr. č. 1 – Energeticky aktivní dům využívající maximum sluneční energie [68]*
- Obr. č. 2 – Procentuální podíl tepelné ztráty obálkou budovy [7]*
- Obr. č. 3 – Kondenzace vlhkosti způsobená tepelným mostem. [28] [29]*
- Obr. č. 4 – Detail tepelného mostu ve styku 3 zvenku ochlazovaných konstrukcí. [30]*
- Obr. č. 5 – Viditelné úniky tepla pomocí měření termokamerou [31]*
- Obr. č. 6 – Průběh teplot ve zdivu se zateplením v ustáleném stavu a vyznačené jednotlivé tepelné odpory. [31]*
- Obr. č. 7 – Historické obydlí s hliněnou omazávkou [37]*
- Obr. č. 8 – Isover EPS 70F a Grafitový polystyrén Isover EPS Grey Wall [44]*
- Obr. č. 9 – Blokové schéma výroby EPS [36]*
- Obr. č. 10 – XPS fasádní FIBRAN ETICS GF I a XPS Austrotherm TOP P GK [46] [47]*
- Obr. č. 11 – Ukázka aplikace stříkané PUR pěny [50]*
- Obr. č. 12 – Pěnový polyetylén [55]*
- Obr. č. 13 – Blokové schéma výroby MW [36]*
- Obr. č. 14 – Kamenná vlna Rockwool [53]*
- Obr. č. 15 – Minerální skelná vata Isover [54]*
- Obr. č. 16 – Blokové schéma výroby heraklitových izolačních desek [36]*
- Obr. č. 17 – Dřevovláknité desky Heraklith, Heratekta (Heraklit + polystyren) a Tektalan (Heraklit + kamenná vlna) z nabídky Knauf Insulation [56]*
- Obr. č. 18 – Dřevovláknité desky Pavatex a Steico [60]*
- Obr. č. 19 – Ukázka foukané izolace Climatizer Plus [57]*
- Obr. č. 20 – Desky a štěrky z pěnového skla Refaglass [59]*
- Obr. č. 21 – Izolace z ovčí vlny [61]*
- Obr. č. 22 – Měkké desky izolace Canabest [60]*
- Obr. č. 23 – Perlit [63]*

Obr. č. 24 – Keramzít [64]

Obr. č. 25 – Vizualizace přibližného budoucího vzhledu bytového domu Modřín

Obr. č. 26 – Skladba stávající konstrukce objektu bez zateplení s povrchovými úpravami, které se do budoucna uvažují

Obr. č. 27 – První navržená varianta skladby obvodové konstrukce se zateplením pomocí pěnového polystyrenu ISOVER EPS 70F

Obr. č. 28 – Druhá navržená varianta skladby obvodové konstrukce se zateplením pomocí minerální vaty KNAUF Insulation FKD

Obr. č. 29 – Třetí navržená varianta skladby obvodové konstrukce se zateplením pomocí desek z fenolické pěny Resolution Baunit

Obr. č. 30 – Čtvrtá navržená varianta skladby obvodové konstrukce se zateplením pomocí pěnového polystyrenu s příměsí grafitu ISOVER EPS GreyWall

Obr. č. 31 – První strana PENB nezateplené obvodové konstrukce

Obr. č. 32 – Druhá strana PENB nezateplené obvodové konstrukce

Obr. č. 33 – První strana PENB varianty č. 4 - zateplení pomocí ISOVER EPS GreyWall

Obr. č. 34 – Druhá strana PENB varianty č. 4 - zateplení pomocí ISOVER EPS GreyWall

Obr. č. 35 – První strana analýzy energetických potřeb stávající konstrukce bez zateplení

Obr. č. 36 – Druhá strana analýzy energetických potřeb stávající konstrukce bez zateplení

Obr. č. 37 – Třetí strana analýzy energetických potřeb stávající konstrukce bez zateplení

Obr. č. 38 – První strana analýzy energetických potřeb varianty č. 4 - zateplení pomocí ISOVER EPS GreyWall

Obr. č. 39 – Druhá strana analýzy energetických potřeb varianty č. 4 - zateplení pomocí ISOVER EPS GreyWall

Obr. č. 40 – Třetí strana analýzy energetických potřeb varianty č. 4 - zateplení pomocí ISOVER EPS GreyWall

Obr. č. 41 – Grafický vývoj ceny plynu v časovém horizontu (cana v CZK za 1MMBtu) [67]

11 SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

Tab. č. 1 – Porovnání hodnot koeficientu n_{50} v závislosti na rozdílném způsobu větrání dle ČSN 73 0540-2. [65]

Tab. č. 2 – Požadované hodnoty měrné potřeby tepla při vytápění budov [32]

Tab. č. 3 – Normové hodnoty součinitele prostupu tepla jednotl. konstrukcí dle ČSN 73 0540-2:2011 [8]

Tab. č. 4 – Tepelné izolační materiály, jejich objemové hmotnosti a součinitelé tepelné vodivosti [7]

Tab. č. 5 – Tabulka hodnot vrstev stávající obvodové konstrukce s budoucími uvažovanými povrchovými úpravami

Tab. č. 6 – Tabulka hodnot vrstev zateplení obvodové konstrukce varianty č. 1

Tab. č. 7 – Tabulka hodnot vrstev zateplení obvodové konstrukce varianty č. 2

Tab. č. 8 – Tabulka hodnot vrstev zateplení obvodové konstrukce varianty č. 3

Tab. č. 9 – Tabulka hodnot vrstev zateplení obvodové konstrukce varianty č. 4

Tab. č. 10 – Tabulka vypočítaných hodnot součinitele prostupu tepla, jejich porovnání a vyhodnocení

Tab. č. 11 – Vyhodnocení požadavků na šíření vlhkosti konstrukcí

Tab. č. 12 – Položkový rozpočet zateplení pěnovým polystyrenem ISOVER EPS 70F

Tab. č. 13 – Položkový rozpočet zateplení minerální vatou KNAUF Insulation FKD

Tab. č. 14 – Položkový rozpočet zateplení deskami z fenolické pěny Resolution Baunit

Tab. č. 15 – Položkový rozpočet zateplení pěnovým polystyrenem ISOVER EPS GreyWall

Tab. č. 16 – Tabulka výpočtu celkových nákladů na energie za rok.

Tab. č. 17 – Tabulka výpočtu úspory energie a doby návratnosti všech variant zateplení

12 SEZNAM POUŽITÝCH GRAFŮ

Graf č. 1 – Spotřeby primární energie dle zdrojů v ČR v letech 2010-2013 [3]

Graf č. 2 – Spotřeba primární energie podle sektorů v roce 2012 [2]

Graf. č. 3 – Závislost mechanických vlastností PUR pěny na objemové hmotnosti [36]

Graf č. 4 – Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě stávající obvodové konstrukce

Graf č. 5 – Rozložení tlaků vodní páry v zateplené konstrukci ve variantě č. 1

Graf č. 6 – Rozložení tlaků vodní páry v zateplené konstrukci ve variantě č. 2

Graf č. 7 – Rozložení tlaků vodní páry v zateplené konstrukci ve variantě č. 3

Graf č. 8 – Rozložení tlaků vodní páry v zateplené konstrukci ve variantě č. 4

Graf č. 9 – Ekonomická návratnost navržených variant zateplení s vyznačenou životností tepelných izolací pro ekonomické výpočty

13 PŘÍLOHY

PŘÍLOHA A - TEPELNĚ TECHNICKÉ POSOUZÁNÍ V PROGRAMU TEPLO 2010

PŘÍLOHA B - VÝPOČET NÁKLADŮ NA PROVOZ BD V PROGRAMU NKN II

- Grafický průkaz energetické náročnosti budov, protokol průkazu a analýza energetických potřeb stávající nezateplené budovy
- Grafický průkaz energetické náročnosti budov, protokol průkazu a analýza energetických potřeb navržené varianty č. 1
- Grafický průkaz energetické náročnosti budov, protokol průkazu a analýza energetických potřeb navržené varianty č. 2
- Grafický průkaz energetické náročnosti budov, protokol průkazu a analýza energetických potřeb navržené varianty č. 3
- Grafický průkaz energetické náročnosti budov, protokol průkazu a analýza energetických potřeb navržené varianty č. 4

PŘÍLOHA C - POLOŽKOVÝ ROZPOČET V PROGRAMU BUILDpowerS

- Varianta zateplení s pěnovým polystyrenem ISOVER EPS 70F
- Varianta zateplení s deskami z minerální vaty Knauf Insulation FKD
- Varianta zateplení s deskami z tuhé fenolické pěny Resolution Baumit
- Varianta zateplení s pěnovým polystyrenem ISOVER EPS Grey Wall

PŘÍLOHA D - VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

- Půdorys 1. NP
- Půdorys 2. NP
- Půdorys 3. NP
- Půdorys 4. NP
- Půdorys střechy
- Řez A-A
- Pohledy